

THÈSE

PRÉSENTÉE A

LA FACULTE DES SCIENCES DE MONTPELLIER

à

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER
(MENTION SCIENCES)

par

Pierre ARNAUD et René RAIMBAULT

L'étang de Salses-Leucate

Ses principaux caractères physico-chimiques et leurs variations
(en 1955-1956 et de 1960 à 1968)

Soutenue le 18 mars 1969 devant la Commission d'Examen

M ^{lle} O. TUZET,	<i>Président</i>
M ^{me} G. VERNET	} <i>Assesseurs</i>
MM. J. PARIS	
J. FURNESTIN	} <i>Invités</i>
C. MAURIN	

NANTES

INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES PÊCHES MARITIMES
La Noë - Route de la Jonelière

1969

THÈSE

PRÉSENTÉE A

LA FACULTE DES SCIENCES DE MONTPELLIER

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER
(MENTION SCIENCES)

par

Pierre ARNAUD et René RAIMBAULT

L'étang de Salses-Leucate

**Ses principaux caractères physico-chimiques et leurs variations
(en 1955-1956 et de 1960 à 1968)**

Soutenue le 18 mars 1969 devant la Commission d'Examen

M ^{lle} O. TUZET,	<i>Président</i>
M ^{me} G. VERNET	} <i>Assesseurs</i>
MM. J. PARIS	
J. FURNESTIN	} <i>Invités</i>
C. MAURIN	

NANTES

INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES PÊCHES MARITIMES
La Noë - Route de la Jonelière

1969



FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER

<i>Doyen</i>	M. A. CASADEVALL
<i>Délégué au Conseil de l'Université. Premier Assesseur</i>	M. Ch. SAUVAGE
<i>Délégué au Conseil de l'Université. Deuxième Assesseur</i>	M. P. DUMONTET
<i>Directeur du Collège scientifique universitaire de Perpignan</i>	M. J. RABINOVITCH
<i>Directeur de l'I.P.E.S.</i>	M. M. MAURIN
<i>Chef des Services administratifs</i>	M. E. SIAU
<i>Doyen honoraire</i>	M. P. MATHIAS
<i>Professeurs honoraires</i>	MM. R. JACQUES, M. CASTERAS, E. CARRIERE, E. TURRIERE, J. SOULA, G. DENISOT, J. GRANIER, Ch. BOUHET.

PROFESSEURS TITULAIRES

MM. M. MOUSSERON : Chimie Organique	MM. B. PISTOULET : Physique
L. EMBERGER : Botanique	Ch. ROUMIEU : Analyse supérieure
J.-F. ROIG : Physique	J. ROBIN : Physique
P. CHATELAIN : Minéral. et Cristallogr.	A. POTIER : Lab. Acides minéraux
M ^{lle} O. TUZET : Zoologie	R. LAFONT : Physique
G. CAUQUIL : Chimie Organique	R. JACQUIER : Chimie
MM. G. COUCHET : Mécanique supérieure	J. FALGUEIRETTES : Minéralogie
J. SALVINIEN : Chimie - Physique	J. REGNIER : Chimie
M ^{lle} A.-M. VERGNOUX : Physique	M ^{me} J. CHARLES : Mathématiques
MM. J. AVIAS : Géologie	MM. P. CAILLON : Physique
P. VIELES : Chimie	J. ROUZAUD : Chimie
J. RABINOVITCH : Physique (C.S.U. Perpignan)	Ch. SAUVAGE : Botanique
E. KAHANE : Chimie biologique	H. CHRISTOL : Chimie (E.N.S.I.)
J.-J. MOREAU : Mécanique rationnelle	M ^{me} G. VERNET : Biologie animale
B. CHARLES : Mathématiques pures	MM. L. CECCHI : Physique
J. MOTTE : Biologie végétale	H. ANDRILLAT : Astronomie
R. JOUTY : Physique	M. SAVELLI : Physique
P. DUMONTET : Physique	M. MATTAUER : Géologie
R. LEGENDRE : Zoologie	L. EUZET : Zoologie (C.S.U. Perpignan)
I. ASSENMACHER : Physiologie animale	C. DELOUPY : Physique
A. CASADEVALL : Chimie organique	L. GRAMBAST : Botanique

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M ^{me} M.-L. DE POUCQUES : Botanique (C.S.U. Perpignan)	M ^{me} H. GUASTALLA : Biologie physico-chimique
MM. P. MURAOUR : Géophysique appliquée	MM. G. LAMATY : Chimie
G. TOURNE : Chimie	F. PROUST : Géologie
J. REMY : Géologie	M ^{lle} A. BAILLETTE : Mathématiques (C.S.U. Perpignan)
P. DEMANGEON : Géologie	MM. A. BASSOMPIERRE : Physique
A. BONNET : Botanique	R. MARTY : Psychophysiologie
M ^{mes} S. ROBIN : Physique	M. MAURIN : Chimie
Ch. DUBOUL-RAZAVET : Géologie (C.S.U. Perpignan)	N. ROBY : Mathématiques
M. E. GROUBERT : Physique	M ^{me} N. PARIS : Physiologie végétale

PROFESSEURS ASSOCIES

MM. E. AKUTOWICZ : Mathématiques
A. MICALI : Mathématiques
C. VAGO : Biologie animale

MM. K. KOHLER : Biochimie
C. QUATE : Physique

MAITRES DE CONFÉRENCES

MM. R. GAUFRES : Chimie
J.-J. SOULIER : Chimie (C.S.U. Perpignan)
J. PARIS : Zoologie
P. MOLINO : Mathématiques
G. BOUGNOT : Physique
Y. GUITTON : Physiologie végétale (C.S.U. Perpignan)
F. BOMBRE : Physique (C.S.U. Perpignan)
C. PUISSEGUR : Biologie animale (C.S.U. Perpignan)

MM. P. VIALLET : Chimie (C.S.U. Perpignan)
L. THALER : Géologie
J. LEGRAND : Physiologie animale
M. ROUZEYRE : Physique
P. SABATIER : Mathématiques
Ch. CASTAING : Mathématiques (C.S.U. Perpignan)
D. DULL : Chimie

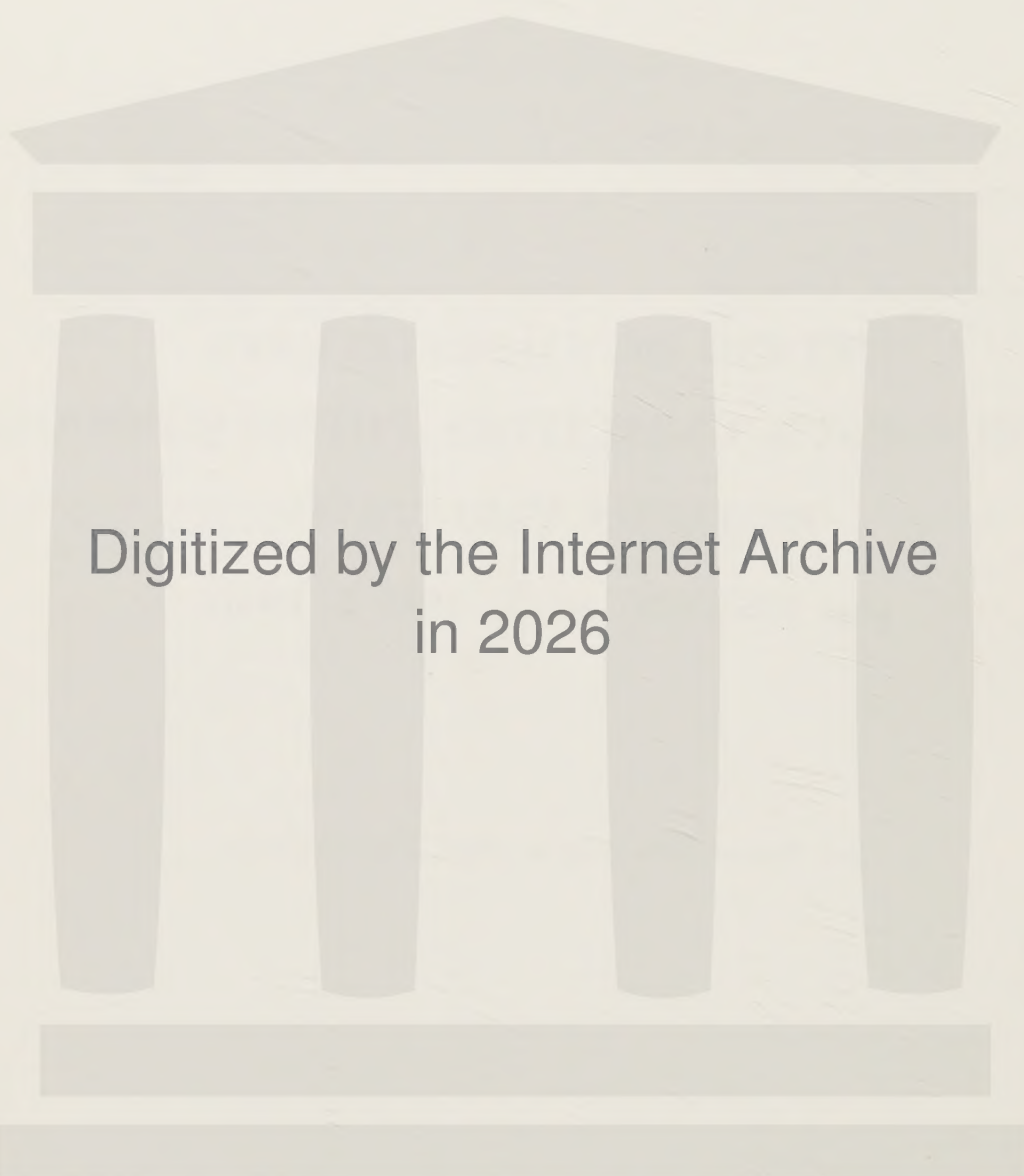
CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

MM. M. LEFRANC : Mathématiques
A. STURER : Mathématiques
C. BENZAKEN : Mathématiques

M^{lle} Ch. BARBANCE : Mathématiques (C.S.U. Perpignan)

L'ETANG DE SALSES-LEUCATE
SES PRINCIPAUX CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES
ET LEURS VARIATIONS
(en 1955-1956 et de 1960 à 1968)

par Pierre ARNAUD et René RAIMBAULT



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551917_0015

**L'ETANG DE SALSES-LEUCATE
CIPAUX CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES
ET LEURS VARIATIONS
(en 1955-1956 et de 1960 à 1968)**

par Pierre ARNAUD et René RAIMBAULT

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	9
INTRODUCTION	11
CHAPITRE I. - L'ETANG DE SALSES-LEUCATE ET SON ENVIRONNEMENT	12
CHAPITRE II. - HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR L'HYDROLOGIE DE L'ETANG	19
<i>Travaux antérieurs</i>	19
<i>Travaux effectués au cours de cette étude. Méthodes</i>	21
1° Sur l'étang lui-même	21
2° Sur les résurgences et en mer	21
<i>Techniques et méthodes</i>	21
1° Echantillonnage des eaux	21
2° Unités employées et méthodes d'analyses (Cl, Ca et Mg)	24
CHAPITRE III. - LES TEMPERATURES DE L'ETANG : CARACTERISTIQUES ET CAUSES DES VARIATIONS	26
A - Caractéristiques thermiques de l'étang.	26
1° <i>Cycle annuel; variations des températures moyennes mensuelles</i>	26
2° <i>Variations saisonnières aux diverses stations</i>	27
3° <i>Variations journalières aux diverses stations</i>	29
B - Causes des variations des températures	32
<i>Généralités</i>	32
1° <i>Relation entre les moyennes mensuelles de l'air, de l'eau et de l'insolation</i>	33
2° <i>Relation entre les moyennes journalières de l'air et de l'eau</i>	33
3° <i>Causes de l'hétérogénéité des températures dans les divers secteurs de l'étang</i>	36
<i>Résumé</i>	43

AVANT-PROPOS

Mademoiselle TUZET a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury de cette thèse; qu'elle veuille bien accepter nos sincères et respectueux remerciements.

Il nous est particulièrement agréable d'exprimer nos sentiments de reconnaissance à M. PARIS pour ses conseils et pour les nombreux services de divers ordres qu'il nous a rendus au cours de la préparation de cette thèse. Il l'a toujours fait avec une affabilité à laquelle nous tenons vivement à rendre hommage.

Que Mme VERNET et M. MAURIN soient également remerciés d'avoir bien voulu examiner notre travail et d'avoir accepté de s'associer au jury de cette thèse.

Dans ces remerciements il nous est difficile de donner toute la place qu'il conviendrait d'accorder à M. FURNESTIN. Sans lui ce travail n'aurait probablement pas vu le jour. C'est lui qui a pris l'initiative de mettre l'étude de l'étang de Salses-Leucate à notre programme et qui nous a fourni les moyens matériels de le réaliser. Il a su voir que la valeur d'un tel sujet tiendrait, pour une grande part, à la durée des observations et il a fallu tout l'intérêt qu'il a constamment porté à ce travail pour soutenir nos efforts et nous permettre de le mener à son achèvement. Qu'il reçoive ici le témoignage de notre profonde et sincère gratitude.

Nous tenons enfin à remercier tous ceux qui à divers titres nous ont apporté une aide, soit au cours de nos travaux de recherches eux-mêmes, soit dans la réalisation matérielle de ce mémoire.

Parmi nos collègues de l'Institut, nous ne saurions oublier J. AUDOUIN sous la direction duquel furent entreprises les premières recherches; nous tenons aussi à remercier F. SCARINCI pour sa précieuse collaboration.

Nous nous devons encore de mentionner Germain ROSE et Louis VILLASEQUE, les pêcheurs de Saint-Laurent-de-la-Salanque qui pendant de nombreuses années furent nos fidèles compagnons de travail.

INTRODUCTION

Dans un exposé sur les activités de l'Institut scientifique et technique des Pêches maritimes, J. FURNESTIN, le directeur de cet organisme, rappelait récemment qu'aux termes mêmes de la loi la mission de l'Institut consiste à faire « tous travaux et recherches relevant des sciences de la mer et intéressant directement ou indirectement les pêches maritimes et industries annexes ». Commentant cette définition, il insiste sur le fait que les organismes marins dépendent absolument du milieu et de ses variations; « la connaissance de ce milieu, conclut-il, est donc à la base de toutes les recherches de l'Institut » (FURNESTIN, 1964 a).

Dans une autre publication, sur la « Pêche Scientifique », le directeur de l'I.S.T.P.M. fait remarquer qu'il n'existe pas de différence fondamentale entre l'océanographie des pêches et l'océanographie générale; à propos de la première il écrit « Visant les mêmes buts elle s'en sépare par le fait que ne travaillant pas seulement pour la Connaissance, elle fixe des délais et des objectifs précis et pratiques à ses recherches, car des hommes attendent des résultats et des solutions dont ils ont le plus urgent besoin » (FURNESTIN, 1964 b).

L'étude qui fait l'objet de cet exposé, s'insère directement dans la ligne des activités ainsi définies, tant par ses objectifs et ses méthodes que par les résultats déjà obtenus.

Dans le programme général de l'Institut, la tâche propre des laboratoires de biologie conchylicole est orientée sur les recherches pouvant contribuer à améliorer ou à développer la culture des coquillages comestibles.

Précisément, les études faites sur l'étang de Salses-Leucate ont été entreprises dans le but de connaître les éventuelles possibilités d'y implanter une activité conchylicole. Au moment où ces travaux débutèrent, en 1955, aucune étude approfondie et continue n'avait été effectuée sur cette lagune à régime extrêmement variable et complexe, et il était bien impossible de se prononcer de façon certaine sur les chances de succès d'une culture de coquillages. Commencées en 1955, poursuivies en 1956, puis interrompues par nécessité pendant quelques années, les recherches furent reprises de façon ininterrompue à partir de 1960. Parallèlement à l'étude du milieu, différentes observations d'ordre biologique étaient suivies.

L'étude physico-chimique du milieu, à laquelle le présent mémoire est exclusivement consacré, n'a été effectuée que sur quelques facteurs essentiels, en nombre relativement réduit, parce que les diverses autres activités du laboratoire permettaient difficilement de faire plus. En revanche, qu'il nous soit permis d'attirer l'attention sur le fait que rares sont les unités lagunaires où les contrôles des paramètres retenus ont été aussi multipliés et suivis sur d'aussi nombreuses années. Cette durée des travaux mérite d'être soulignée; il s'est avéré en effet que, pour de tels milieux, des observations sporadiques ou ne portant que sur peu d'années, pouvaient laisser échapper des caractères essentiels.

Quoi qu'il en soit, le but directement utile qui avait motivé ces diverses recherches a pu être considéré comme atteint à la fin de 1962. La certitude était acquise que, pour la moule au moins, un élevage rentable pouvait être entrepris, particulièrement dans la partie nord de l'étang. En conséquence 64 concessions furent attribuées et les premières installations conchylicoles apparurent au cours de l'année 1963. Depuis cette date, le nouveau centre de conchyliculture n'a fait que se développer et progresser; les améliorations du milieu, que l'on pouvait attendre du percement d'une nouvelle communication avec la mer (LE DANTEC et RAIMBAULT, 1965), se sont confirmées et actuellement les professionnels peuvent compléter avec succès leur élevage de moules par une ostréiculture prospère.

CHAPITRE I

L'ETANG DE SALSES-LEUCATE ET SON ENVIRONNEMENT

1. - Situation géographique et description de l'étang.

Parmi les lagunes d'eaux salées, si nombreuses sur le pourtour du golfe du Lion, celle qui fait l'objet de cette étude est une des plus méridionales; située à une dizaine de kilomètres au nord de Perpignan, elle appartient en partie au département des Pyrénées-Orientales et en partie à celui de l'Aude. Cette lagune est appelée « étang de Salses-Leucate » du nom de deux villages localisés à son voisinage l'un sur la partie sud, l'autre sur le rivage nord.

Avant de décrire le contexte géographique dans lequel s'insère cette nappe d'eau, il convient d'exposer les principaux traits qui la caractérisent elle-même.

a) *L'étang.*

L'étang se présente sous une forme allongée parallèlement au rivage de la mer (fig. 1). Long de 14 km environ, sa largeur maximum atteint 6,500 km. Bien que formant une nappe d'eau d'un seul tenant d'environ 5 300 ha, cet étang est en réalité composé de deux bassins séparés de hauts-fonds. Sur cette ligne de séparation, la profondeur ne dépasse guère 1 m; ce seuil est marqué par la présence d'un îlot, minuscule mais toujours émergent, de quelques dizaines de mètres carrés, la Rascasse; un autre point, situé au sud-est du premier, est connu sous le nom de « l'île de Vy », mais il ne découvre en réalité qu'à de rares périodes de très basses eaux.

La ligne qui marque la frontière entre le département de l'Aude et celui des Pyrénées-Orientales passe précisément par ces hauts-fonds, et concrétise sur le plan administratif l'existence des deux bassins qui composent l'étang, celui de Leucate au nord et celui de Salses au sud.

Les masses d'eau que représente chacun des bassins ne sont pas d'égale importance. Les services d'Aménagement du littoral du Languedoc-Roussillon ayant effectué une prospection bathymétrique très détaillée au cours des dernières années, il a été possible, grâce aux cartes et aux relevés qu'ils ont eu l'amabilité de nous communiquer, d'établir les données chiffrées suivantes.

La surface totale de l'étang, y compris les diverticules et annexes (comme l'anse du Paurel, de la Corrège, et autres) s'élève à 5 345 ha; la profondeur moyenne de l'ensemble est approximativement de 1,75 m et le volume d'eau est de l'ordre de 95 millions de mètres cubes.

Si on ne considère que la masse de l'étang même, sans tenir compte des diverticules plus ou moins isolés et sans profondeur, on obtient une surface de 4 590 ha, dont 1 540 pour le bassin de Leucate et 3 050 pour celui de Salses; ce dernier est donc deux fois plus étendu que le premier; d'autre part la profondeur moyenne du bassin de Salses étant de l'ordre d'environ 2,10 m contre 1,50 m pour le bassin de Leucate, son volume d'eau est de l'ordre de 65 millions de mètres cubes, alors que celui de Leucate n'atteint pas 25 millions de mètres cubes. Malgré ces différences sensibles de surface et de volume que présentent les deux bassins, leur profondeur maximum reste du même ordre (3,70 m pour Salses et 3,20 m pour Leucate), mais alors que les fonds égaux ou supérieurs à 3 m dépassent légèrement 1 000 ha dans le bassin de Salses, ils n'occupent que 140 ha dans le bassin de Leucate.

L'examen des isobathes portées sur la figure 1 et des coupes de la figure 2, montre que la répartition des profondeurs présente une allure semblable dans l'un et l'autre bassin; d'ouest en est les fonds descendent selon une pente relativement douce et régulière alors qu'au contraire la remontée du côté oriental se présente sous la forme d'un véritable talus à pente abrupte. L'orientation de ce talus dans le bassin de Leucate est parallèle à la langue de sable de la Corrège, de direction NE-SO, alors que dans le bassin de Salses elle prend une direction NS.

RIVIÈRE et VERNHET (1956 et 1958) attribuent cette dissymétrie entre les rives occidentales et orientales à l'action des vents dominants; ces vents du secteur nord et nord-ouest sont souvent très violents et donnent des houles courtes et creuses qui remettent en suspension les sédiments apportés

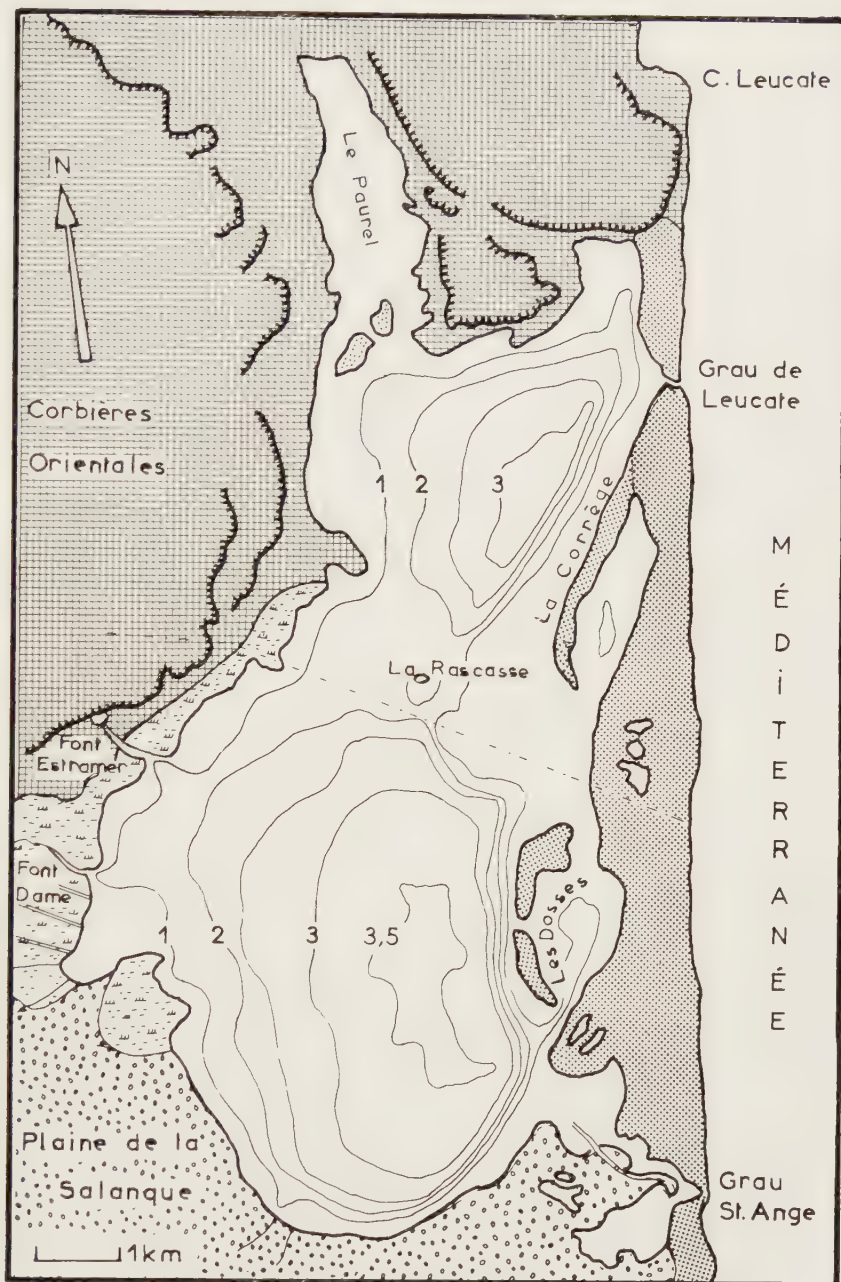


FIG. 1. — L'étang de Salses-Leucate dans son contexte géographique immédiat.

par la mer et provoquent un transfert actif du nord vers le sud. Ainsi, on comprend que les rives orientales exposées au vent subissent un affouillement, affouillement qui ne se produit pas sur les rives occidentales du fait qu'elles sont protégées par les hauteurs qui les bordent.

Cette interprétation est satisfaisante pour expliquer dans l'état actuel des choses le maintien de ce modelé dissymétrique des deux cuvettes, mais il ne rend pas compte de la différence d'orientation de ces rives orientales abruptes dans les deux bassins.

Toujours selon RIVIÈRE et VERNHET (1958) l'édification de la Corrège suivant une direction NE-SO, direction qui s'est imposée à la cuvette de Leucate, est la résultante de deux phénomènes; d'une part un apport massif de sable par le grau de Leucate, lors des fortes tempêtes de sud-est et d'autre part le transfert et l'étalement en direction sud de ces sables sous l'action des vents du secteur N-NO.

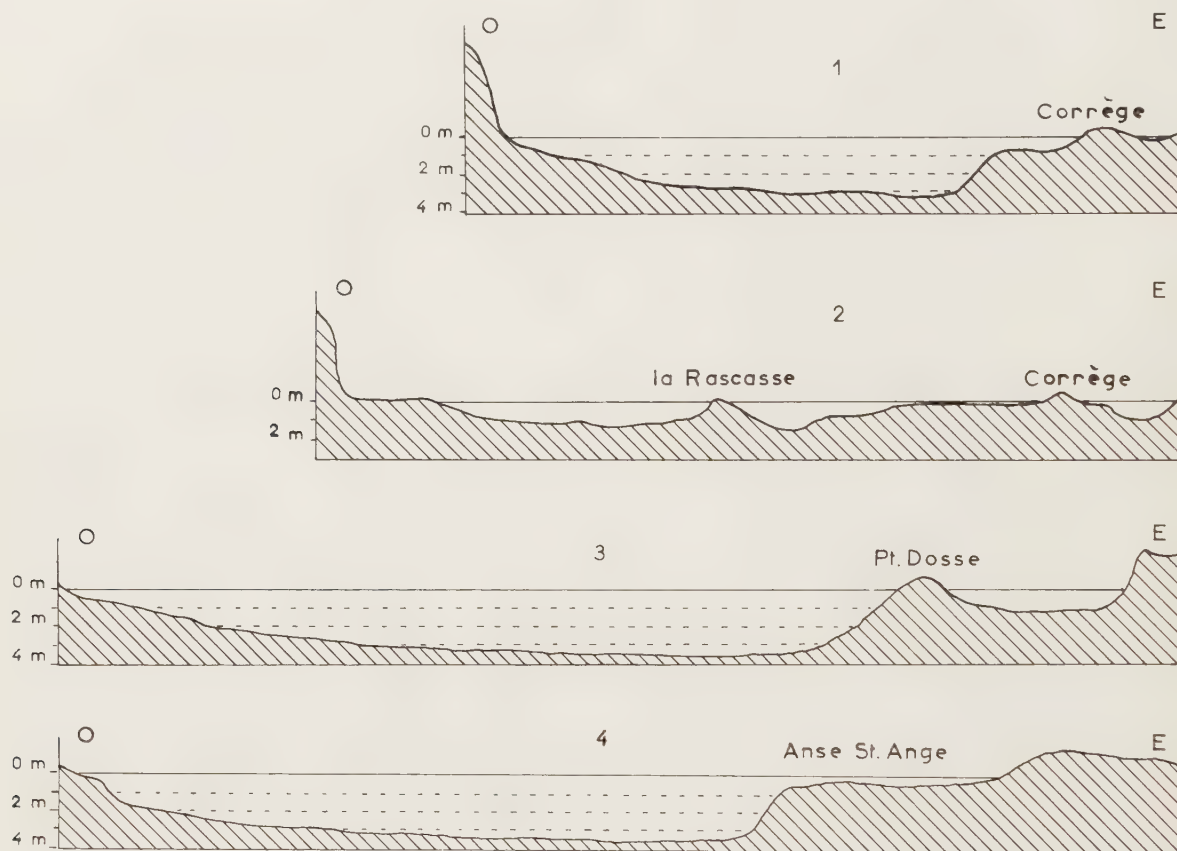


FIG. 2. — Coupes transversales de l'étang de Salses-Leucate, montrant la topographie des fonds. 1 : bassin de Leucate; 2 : haut-fond médian; 3 et 4 : bassin de Salses.

Quant aux autres émergences, de la Rascasse, de Vy et des Dosses, qui donnent son orientation nord-sud à la cuvette de Salses, elles ne résulteraient pas de phénomènes actuels; elles seraient des témoins de certaines péripéties du comblement du golfe marin au cours du Flandrien; c'est en effet pendant cette phase terminale du Quaternaire, faisant suite à une régression qui avait rejeté les rivages marins à un niveau de — 25 m environ (DENIZOT, 1951), que la mer a repris son niveau actuel. Les zones basses et découpées, qui avaient été recreusées lors de la régression préflandrienne, furent à nouveau occupées par les eaux marines formant autant de golfes ou de baies; mais en même temps ce relèvement général du niveau de base s'accompagna des phénomènes classiques d'alluvionnements qui tendaient à combler ces golfes. Ainsi les cailloutis qui forment le soubassement des îlots de la Rascasse et de Vy, ainsi que celui des Dosses seraient des témoins de dépôts dus à un ancien bras (ou un ancien cours) de l'Agly (RIVIÈRE et VERNHET, 1956).

Quant au cordon littoral qui, prenant appui sur le cap Leucate au nord, forme une barrière entre la mer et l'étang, il s'est édifié également pendant cette phase d'alluvionnement du Flandrien.

Au total, comme toutes les lagunes méditerranéennes, la collection d'eau que représente l'étang de Salses-Leucate n'est que l'aboutissement des phases d'érosion suivies des phases de remplissages qui ont accompagné la succession des régressions et des transgressions marines du Quaternaire. La configuration que nous lui connaissons aujourd'hui représente plus spécialement l'état actuel de la phase de sédimentation commencée il y a environ 15 000 ans avec la transgression flandrienne.

b) Contexte géographique.

L'étang de Salses-Leucate appartient à l'unité naturelle connue sous le nom de plaine du Roussillon. Il s'agit d'une dépression créée par des cassures, suivies d'effondrement, de la zone axiale cristalline des Pyrénées; ces phénomènes sont probablement liés aux phases de l'orogénèse de la chaîne pyrénéenne datant de la première partie de l'ère tertiaire (Eocène, Oligocène). C'est probablement au cours de ces mêmes périodes que les nappes secondaires du massif des Corbières qui forment la bordure nord de la plaine d'effondrement se sont mises en place (GOT, 1965).

Au cours du Miocène et du Pliocène les transgressions marines ont comblé la dépression roussillonnaise de leurs sédiments; ceux-ci sont essentiellement constitués de sables, d'argiles et de mollasses. Ils forment de puissantes assises puisque, selon GOT (1965), les dépôts néogènes observés lors d'un forage pétrolier opéré près de Canet dépassait 1 000 m (dont 235 de miocène argileux et mollassique et 780 de pliocène argilo-sableux).

Si ces dépôts néogènes forment l'essentiel du remplissage de la plaine du Roussillon, ils sont cependant partout recouverts par des alluvions fluviales quaternaires déposées au cours des diverses transgressions marines et plus particulièrement par la dernière, la transgression flandrienne.

Parmi les coupes de forages opérées dans la plaine de la Salanque et présentées par GOT (1965), trois se situent à un ou deux kilomètres seulement au sud des rives de l'étang. Ces forages ont traversé de 80 à 130 m d'alluvions selon les cas. La majeure partie des terrains est certainement, là encore, constituée par des dépôts pliocènes, mais, bien que la limite supérieure du pliocène soit difficile à préciser, on peut estimer, avec l'auteur, que les 10 à 20 premiers mètres représentent des dépôts quaternaires.

Finalement le Roussillon se présente comme une vaste plaine alluvionnaire en forme de demi-cercle; largement ouverte sur la mer à l'est, elle est complètement entourée de montagnes sur le reste de son pourtour, avec la chaîne des Albères et le Canigou au sud, le massif des Madres à l'ouest et le massif des Corbières au nord.

Une avancée de ce massif des Corbières, en direction de la mer, prolongée par le promontoire du cap Leucate, forme la barrière naturelle qui isole la plaine du Roussillon par le nord.

L'étang de Salses-Leucate (fig. 1) occupe précisément cette zone la plus septentrionale de la plaine; sa partie nord, le bassin de Leucate, se moule étroitement contre le relief de cette protubérance des Corbières. De ce fait, à l'exception de l'anse du Paurel qui s'insinue dans le sillon qui sépare les hauteurs de Leucate des Corbières proprement dites, les rives du bassin de Leucate sont dominées par des monts de calcaires compacts portant une végétation maigre de garrigues.

En parfait contraste avec cette situation, le bassin de Salses au sud commence là où la bordure de la protubérance des Corbières s'éloigne vers l'ouest faisant place aux alluvions du Roussillon. Le bassin de Salses est donc en continuité avec cette vaste plaine dont l'horizontalité n'est interrompue à quelque 30 km de là, vers le sud, que par les premiers contreforts pyrénéens. De ce fait les rives du bassin de Salses sont basses et plates; les terrains sablo-vaseux relativement fermes qui constituent la bordure sud portent une végétation halophile où les salicornes et les obiones dominent. Au contraire, au sud-ouest et surtout à l'ouest, la transition entre l'étang et la plaine se fait par une zone de marécages où les roseaux prospèrent; ces marécages sont particulièrement étendus entre Salses et la Font Estramer (fig. 1) là où le massif des Corbières s'éloigne vers l'ouest et où commence la plaine de la Salanque (c'est en effet sous le nom de plaine de la Salanque qu'on désigne cette partie septentrionale du Roussillon limitée au sud par la rivière de l'Agly et au nord par l'étang de Salses).

c) Les apports d'eaux continentales et les échanges avec la mer.

Les apports d'eaux continentales. Un simple examen des cartes de la région montre qu'aucune rivière proprement dite ne se jette actuellement dans l'étang de Salses-Leucate.

Dans la partie nord, quand on se dirige vers Perpignan, la route franchit deux modestes ruisseaux d'Arène et le Canaveyre, qui descendent des hauteurs de Treilles et de Feuilla et se dirigent vers l'anse du Paurel; mais en réalité le lit de ces deux ruisseaux est presque toujours à sec et ce n'est qu'aux périodes de très fortes pluies que leur cours s'anime brièvement pour évacuer les eaux de ruissellement.

Tout à fait au sud, le cours actuel de l'Agly traverse d'ouest en est la plaine de la Salanque et débouche en mer à 3 ou 4 km au sud des rives du bassin de Salses. Bien que le réseau de ses affluents se ramifie sur tout le flanc sud-est des Corbières c'est un cours d'eau semi-torrentiel, à régime très irrégulier et dont le lit est presque à sec en été. Par contre lors des précipitations exceptionnellement abondantes, comme on en observe de temps à autre en climat méditerranéen, l'Agly ne suffit plus à canaliser les eaux; les terrains alluvionnaires étant eux-mêmes saturés, de larges zones de la plaine sont inondées et l'étang peut recueillir une partie de ces eaux superficielles par l'intermédiaire de quelques chenaux tels que le « canal de la Salanque » ou le canal de Saint-Hippolyte. En dehors de ces venues relativement rares, les écoulements d'eau par le sud sont insignifiants.



FIG. 3. — *La Rigole à proximité de l'étang.*



FIG. 4. — *Un des petits affluents du ruisseau de Font Dame.*

Il existe cependant près de ces rives méridionales quelques résurgences qui entretiennent tout au plus de petits îlots de marécages (fontaine du Port), ou maintiennent en eau la partie inférieure de certains canaux (canal de la Salanque), mais leur débit dans l'étang est le plus souvent nul ou infime.

Contrastant avec la sécheresse qui caractérise le pourtour du bassin de Leucate au nord et celui des rives méridionales du bassin de Salses au sud, la partie O-SO de ce dernier bassin reçoit en permanence des écoulements d'eaux continentales. Celles-ci débouchent dans cette zone de marécages à roseaux que nous avons signalée précédemment et elles ont ceci de particulier qu'elles appartiennent, jusqu'à leur point d'émergence à proximité de l'étang, à la catégorie des eaux souterraines.

Parmi ces eaux souterraines les plus apparentes sont celles qui, après absorption par les calcaires fissurés des Corbières, alimentent les réseaux karstiques du massif et reviennent au jour à la base du relief.

La fourniture d'eau à l'étang par ces réseaux karstiques est particulièrement remarquable au nord de Salses où l'on observe plusieurs résurgences. Les eaux issues de ces résurgences sont suffisamment abondantes tout au long de l'année pour alimenter deux sortes de petites rivières permanentes, courtes mais au courant très vif, qui traversent la zone marécageuse et se jettent dans l'étang.

La première, appelée la Rigole, évacue dans l'étang les eaux d'une puissante résurgence connue sous le nom de Font Estramer; c'est une résurgence du type source vauclusienne; les eaux, remontant des profondeurs, viennent au jour dans une vasque d'une vingtaine de mètres de diamètre située à la base même de la falaise calcaire. Le gouffre d'où sortent ces eaux atteindrait au moins une cinquantaine de mètres de profondeur. C'est le trop plein permanent de cette vasque que la Rigole livre à l'étang, après un parcours d'environ 800 m (fig. 3).

Le deuxième cours d'eau situé plus au sud et appelé « ruisseau de Font Dame » est constitué par la convergence de multiples affluents eux-mêmes alimentés par de nombreuses petites résurgences qui débouchent au milieu des roseaux de la zone marécageuse du sud-ouest (fig. 4).

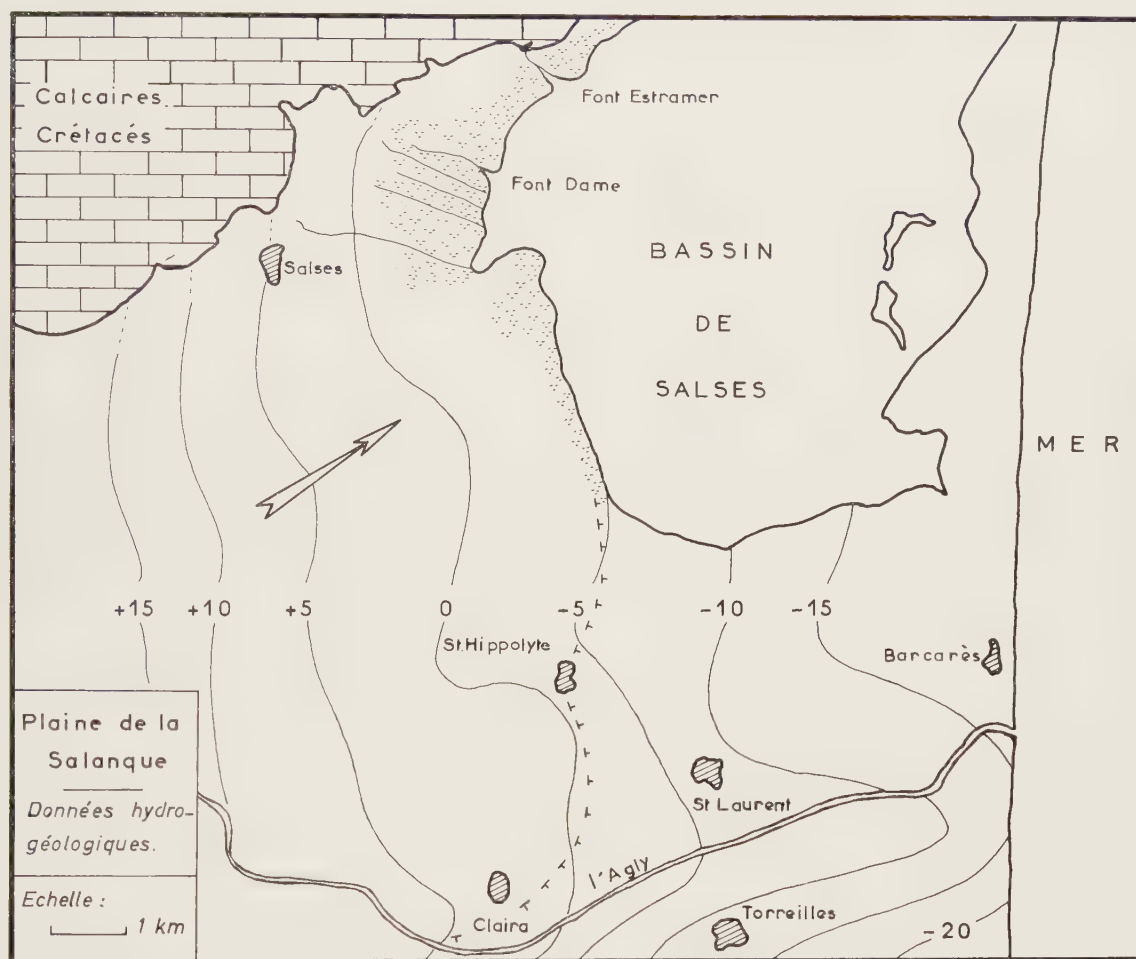


FIG. 5. — Données hydrogéologiques de la plaine de la Salanque (d'après GOR, 1965). Les chiffres indiquent le niveau hypsométrique de la nappe aquifère et la flèche le sens de l'écoulement de cette nappe; la ligne des croix passant par St-Hippolyte correspond à la limite où elle cesse d'être libre.

Le débit de ces résurgences, d'après LAURENT (1932) que cite PETIT (1953), est de $300\,000\text{ m}^3$ par jour (soit à peu près $3,5\text{ m}^3/\text{s}$) pour la Font Estramer et de $200\,000\text{ m}^3$ ($2,3\text{ m}^3/\text{s}$) pour Font Dame. GOR (1965) se prononce pour un débit total de l'ensemble variant de 5 à $10\text{ m}^3/\text{s}$.

Si la plus grande partie des apports d'eaux continentales est constituée par les eaux des réseaux karstiques qui s'évacuent dans l'étang par la Rigole et le ruisseau de Font Dame, il n'en reste pas moins vrai que d'autres eaux souterraines, d'origine moins apparente, contribuent à alimenter l'étang en eau douce. Il s'agit des eaux qui imprègnent les couches d'alluvions perméables de la plaine de la Salanque et forment nappe phréatique.

L'étude de GOT (1965) sur l'hydrogéologie de la région de la Salanque est très riche d'informations sur ce point. L'auteur met en évidence l'existence d'une nappe aquifère, parmi d'autres, dont les caractéristiques sont telles qu'elle contribue certainement à alimenter l'étang dans toute la zone marécageuse du sud-ouest. Cette nappe a son toit à environ 3 ou 4 m de profondeur et imprègne des sédiments faits de sables grossiers et de graviers d'une épaisseur d'environ 4 m reposant sur des couches argileuses attribuées au Pliocène. Cette couche perméable qui se trouve à l'altitude de 10 à 15 m par rapport au niveau de la mer, près du massif calcaire des Corbières, présente un pendage NO-SE; elle atteint l'altitude zéro à environ 1 500 m du bord occidental de la lagune, approximativement là où commence la zone marécageuse (fig. 5); plus à l'est, à la hauteur du méridien de Saint-Hippolyte, la nappe se trouve à 5 m au-dessous du niveau de la mer et de plus, à cette longitude, elle se trouve recouverte de couches argileuses qui en font une nappe captive. Elle gardera ce caractère de nappe captive jusqu'à son affleurement en mer à des profondeurs de l'ordre de — 20 à — 30 m.

De cette description de la position sédimentologique de la nappe aquifère il faut surtout retenir que les rives sud-ouest du bassin de Salses servent de niveau de base pour une partie de ses eaux.

Il est très difficile de donner une évaluation même approximative de la quantité d'eau livrée à l'étang par l'intermédiaire de cette nappe phréatique. Si l'on se réfère aux données que GOT propose pour établir le bilan de la nappe, on doit conclure que cet apport est beaucoup moins important que celui qui s'opère directement par les résurgences de Font Dame et de Font Estramer. La fourniture annuelle d'eau à la nappe par les pluies et par les calcaires serait d'environ 13 millions de m³ et les pertes naturelles (donc autres que celles qui sont dues aux captages et aux pompages) seraient de l'ordre de trois millions de m³ par an; ainsi même si l'on admettait que toute l'eau correspondant à ces pertes va à l'étang cela ne ferait qu'un débit d'environ 100 l/s.

Les échanges avec la mer. Pendant presque toute la durée de nos observations, le cordon de sable qui isole l'étang de la mer ne présentait qu'une seule rupture, susceptible de permettre des échanges d'eaux; il s'agit du grau de Leucate, situé à environ 2 km au sud de l'agglomération Leucate-plage.

De mémoire d'homme ce grau de Leucate a toujours été caractérisé par sa tendance à s'ensabler et du fait même par la faiblesse des échanges qu'il permettait entre la mer et l'étang.

En 1897 GOURRET signalait déjà que ce grau ne fonctionnait généralement qu'à partir de novembre ou décembre et jusqu'en février ou mars, c'est-à-dire aux périodes où les afflux d'eaux continentales sont normalement les plus élevés. L'auteur dit qu'en dehors de cette période hivernale les échanges avec la mer n'avaient lieu que de temps à autre par forts vents de SE.

Quelques travaux d'endiguage furent effectués entre 1910 et 1920 mais la situation demeura à peu près inchangée: l'ensablement du grau était tel qu'à la belle saison il était possible de le traverser à pied sec. En février 1960 furent achevés d'autres aménagements (dragages du chenal, régularisation des berges, prolongement en mer avec infléchissement des jetées vers le nord); ces travaux visaient à améliorer et à rendre permanente la communication avec la mer. L'entrée du grau fut même pourvue de portes mobiles susceptibles d'empêcher la fuite du poisson lors des migrations d'automne.

On peut considérer qu'à partir de ce moment-là le grau fonctionna effectivement de façon permanente, mais les débits restèrent faibles. Dès 1961, les phénomènes d'ensablement des abords du grau, du côté de la lagune, avaient déjà en grande partie colmaté le chenal au point que, pendant la plus grande partie de l'année, même une petite barque de pêcheur à fond plat ne pouvait sortir de l'étang par le grau; c'est dire que les échanges, de la mer vers le bassin, n'étaient pas considérables, sauf au moment des fortes tempêtes d'est ou de sud-est ou aux périodes de gros apports d'eaux continentales.

A la fin de 1965, cette situation s'est trouvée sensiblement modifiée par la création d'un deuxième grau situé tout à fait au sud du cordon littoral à proximité de la commune du Barcarès. Il s'agit de la remise en état de l'ancien grau Saint-Ange complètement colmaté depuis longtemps. Dans le cadre des travaux entrepris par l'Aménagement touristique du littoral, la régularisation des berges, ainsi qu'un creusement à 2 m de profondeur furent entrepris; en même temps, du côté de la mer, un port fut aménagé pour les bateaux de pêche, par creusement du sable et édification de digues. L'essentiel de ces travaux fut achevé en octobre 1965; depuis cette

date cette nouvelle communication avec la mer se présente sous forme d'un chenal en ligne brisée d'environ 2 km de long sur 30 à 40 m de large.

Ce nouveau grau Saint-Ange permet des échanges entre la mer et l'étang incomparablement plus importants que celui de Leucate. Nous verrons par la suite qu'il a apporté des modifications notables dans les facteurs hydrologiques de l'étang.

Il doit être signalé que la situation qui vient d'être décrite, caractérisée par la présence de deux graus, l'un ancien et de faible débit, au nord, l'autre récent et beaucoup plus important, au sud, représente l'état de choses régnant encore en 1967, mais que, dans les années à venir, de nouvelles communications sont prévues par le plan d'Aménagement du littoral.

2. - L'importance des données climatiques régionales.

Les données climatiques d'une région ont fatalement une influence sur les caractères hydrologiques d'une lagune et cette influence est d'autant plus sensible que l'unité lagunaire a moins de profondeur et que ses échanges avec la mer sont plus faibles. Sous ces deux aspects, les données exposées dans les paragraphes précédents montrent qu'au point de vue bathymétrie, l'étang de Salses-Leucate, avec ses 3 à 4 m de profondeur, se situe à un niveau moyen parmi les lagunes françaises de la Méditerranée : moins profond que les étangs de Berre et de Thau (qui atteignent 10 m), il l'est plus que tous les autres étangs du Languedoc et de la Provence. Quant aux échanges avec la mer, il a été souligné qu'ils étaient relativement faibles, jusqu'à la fin de l'année 1965.

Notre propos n'est pas de faire un exposé des données météorologiques de la région, mais nous voulons seulement attirer l'attention sur la nécessité d'y faire appel pour une étude telle que celle-ci si l'on veut comprendre les phénomènes observés au sein de l'étang; l'importance de ces données apparaîtra précisément dans les chapitres consacrés à l'interprétation des caractères thermiques et chimiques des eaux.

Il est à signaler que, pour la région où se situe l'étang, il existe d'excellents documents sur la météorologie locale; il s'agit des « Annales climatologiques des Pyrénées-Orientales ». Ces annales sont rédigées chaque année par le personnel de la Station météorologique de Perpignan-Llabanère; outre les nombreux tableaux où sont consignées les données concernant les divers facteurs météorologiques, elles comportent d'intéressantes études de caractère plus général dues à G. CASANOBE⁽¹⁾.

CHAPITRE II

HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR L'HYDROLOGIE DE L'ETANG

Travaux antérieurs.

Les études faites sur l'étang de Salses-Leucate sont relativement peu nombreuses et aucune n'a eu comme objet exclusif ou principal la connaissance des caractères physico-chimiques de ses eaux. Dans un certain nombre d'ouvrages anciens et récents, on peut trouver des notations éparses sur des particularités hydrologiques de cette lagune ou sur celles des eaux qui s'y déversent.

Le plus ancien de ces ouvrages, à notre connaissance, est un traité de géographie « *De situ orbis* » écrit par POMPONIUS MELA, au cours du premier siècle de notre ère; au livre II de son traité, il fait allusion à une source, qu'il appelle « *fons Salsulae* », que les auteurs postérieurs ont identifiée comme étant une des résurgences située près de Salses et dont les eaux alimentent l'étang. A propos de cette source il écrit « *et Salsulae fons, non dulcibus aquis defluens, sed salsioribus etiam quam marinae sunt* » : autrement dit, selon l'auteur, cette source de Salses laisse écouler des eaux

(1) Que M. COUPRIE, Directeur de la Station de Perpignan-Llabanère ainsi que ses collaborateurs, notamment M. CASANOBE, trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements pour l'amabilité avec laquelle ils nous ont toujours reçus et pour la serviabilité avec laquelle ils nous ont à maintes reprises donné accès à leurs archives.

plus salées que ne le sont les eaux de mer ! C'est une affirmation très excessive, et que l'on s'explique mal; ceci ne l'a pas empêchée de traverser les siècles et d'être reprise jusqu'à une époque toute récente.

LENTHERIC (1876) écrit à propos de l'étang de Salses « Ses eaux sont plus salées que celles de la mer »; il explique que ce phénomène est dû « en grande partie, aux apports de deux sources sursaturées de sel » et il se réfère au texte de POMPONIUS MELA. Dans la même lignée, GOBIN (1891) affirme à son tour que les eaux de l'étang sont plus salées que celles de la mer; il précise que les salures varient de 1,5 à 4,5 degrés Baumé, soit environ de 13 à 40 g/l. Il semble que GALTIER (1958) soit le dernier en date à avoir attribué un tel excès de salinité à la lagune.

Cependant, bien avant 1958, plusieurs auteurs ont fourni des données moins fantaisistes. ANGLADA (1883), à la suite d'analyses des eaux de la résurgence de Font Estramer leur attribue une salinité d'environ 2,66 g/l. GOURRET (1897), dans sa monumentale étude sur « Les étangs saumâtres du Midi de la France et leurs pêcheries » donne les densités, mesurées à l'aréomètre, de sept prélèvements de surface, faits en divers points de l'étang, au cours du mois de mars 1896; ses données converties en grammes par litre, s'étalent approximativement entre 5 et 9 g/l. L'auteur précise qu'en été les eaux se concentrent sensiblement, mais qu'elles ne semblent pas dépasser 2°8 B. (soit environ 24,60 g/l) même aux environs immédiats du grau de Leucate.

LAURENT en 1932, dans son étude sur « La végétation des terres salées du Roussillon », attribue aux résurgences de Salses une salinité de 2,51 g/l (exprimée en ClNa, soit 2,76 ‰); le même auteur avance aussi des évaluations du débit des deux principales résurgences (300 000 m³ par jour pour Font Estramer et 200 000 pour Font Dame).

J. et Y. LE CALVEZ (1951) déduisent de leur examen qualitatif et quantitatif des foraminifères que l'amplitude dans les variations de salinité paraît moins grande dans l'étang de Salses que dans l'étang du Canet. Ils citent quelques valeurs de la salinité que leur a communiquées le Professeur G. PETIT; toutes se rapportent uniquement à la partie sud de l'étang. Les salinités citées sont les suivantes :

novembre 1948 : 16,21 et 18,83 g; mai 1949 : 16,50 et 20,04 g; août 1949 : 24,02 et 25,80 g.

FELDMANN (1953), dans une étude sur les algues de la rive sud de l'étang de Salses dit que la chlorinité semble s'être maintenue entre 9,6 et 6,6 g p. mille de mai 1952 à juillet 1953; ceci correspondrait à des salinités allant approximativement de 12 à 17 ‰.

P. MARS (1952 et 1961), dans ses études sur la faune malacologique des étangs, insiste sur la variabilité des salinités de l'étang de Salses-Leucate qui s'observe aussi bien dans le temps (entre les divers mois et les diverses années des prélèvements) que dans l'espace (entre les divers points de prélèvements faits le même jour). Ce caractère de variabilité, il le dégage des données fournies par les auteurs mentionnés ci-dessus et surtout à partir des premiers résultats de nos propres travaux (AUDOUIN, 1957; ARNAUD, 1960). L'auteur donne cependant aussi le résultat de quelques analyses faites par lui-même, en septembre 1959, pour illustrer l'influence des fortes pluies sur la salinité de l'étang; au cours de ce mois en effet les précipitations furent exceptionnellement abondantes (435,7 mm) et P. MARS a observé des salinités de 7,8 et 9,5 ‰ dans la lagune proprement dite.

Cette revue des contributions ayant trait à l'hydrologie de l'étang de Salses-Leucate se terminera en citant à nouveau le travail récent de H. GOT (1965); si l'auteur n'a pas étudié les eaux de l'étang lui-même, on trouve dans son « Etude hydrogéologique de la plaine de la Salanque » des données sur les apports d'eaux continentales dans la partie sud du bassin de Salses. Il y sera fait appel dans le chapitre concernant l'influence de ces apports sur les salinités de l'étang.

Au terme de cette revue des travaux antérieurs, il apparaît qu'actuellement, et encore plus en 1955 au moment où cette étude a été commencée, les données précises sur les caractères physico-chimiques de l'étang de Salses-Leucate étaient extrêmement fragmentaires; elles étaient en particulier tout à fait insuffisantes pour savoir si les conditions de milieu permettaient d'envisager une implantation de l'élevage des huîtres ou des moules. Dans les années qui avaient précédé, quelques avis avaient été formulés quant à cette possibilité, les uns négatifs, les autres positifs; ces avis relevaient plus de l'opinion que de la certitude, du fait même de l'insuffisance des connaissances des facteurs hydrologiques. C'est précisément pour combler, au moins partiellement, cette lacune et en vue de résoudre ce problème pratique, que la présente étude fut entreprise.

Travaux effectués au cours de cette étude. Méthodes.

1°) Sur l'étang lui-même. Le tableau 1 présente d'une manière condensée les travaux sur lesquels repose l'étude hydrologique exposée dans ce mémoire.

En ce qui touche la durée, on remarquera que les observations ont été effectuées pendant deux périodes séparées par plusieurs années d'interruption.

La première période représente une durée de 16 mois; elle s'étend d'avril 1955 à la fin d'août 1956. Au départ, le programme de travail prévoyait qu'un échantillonnage des eaux de l'étang serait fait tous les mois. Malheureusement il n'a pas toujours été matériellement possible de respecter cette fréquence et, à quatre reprises, plus d'un mois s'est écoulé entre deux séries de prélèvements. Au total c'est treize missions qui furent effectuées sur l'étang au cours de ces seize mois.

On remarquera que le nombre de prélèvements est toujours supérieur au nombre des stations; c'est que, d'une manière générale, aux points où la profondeur de l'eau atteint 3 m, deux prélèvements étaient faits, l'un au fond et l'autre en surface (50 cm à 1 m sous la surface).

Pour cette première période, 258 échantillons furent recueillis et pour chacun les deux facteurs fondamentaux seulement furent retenus, à savoir la température et la salinité; cette dernière était déduite à partir de la détermination de la teneur en chlore.

Si limitées soient-elles les données obtenues pendant cette première période, dépassent incomparablement déjà par leur nombre et leur relative continuité, toutes celles qui avaient été fournies antérieurement sur cet étang.

La deuxième période des travaux s'étend sur plus de cinq années consécutives; elle va de juin 1960 à décembre 1965. Cette durée cependant peut être décomposée en trois phases distinctes.

Première phase : de juin à décembre 1960. Huit séries de prélèvements furent effectuées; sur les 201 échantillons prélevés, les mêmes facteurs qu'en 1955-1956 furent contrôlés.

Deuxième phase : février 1961 à fin avril 1964. Ce qui distingue cette phase des précédentes c'est que, sur les 661 échantillons d'eau prélevés au cours de 25 missions, les teneurs en calcium et en magnésium furent déterminées, en plus des facteurs retenus antérieurement.

Troisième phase : juin 1964 à décembre 1965. Pendant cette dernière période, 21 séries de prélèvements furent effectuées mais, d'une manière générale, à chaque mission, le nombre de stations et donc celui des prélèvements, fut très réduit; de plus seules la température et la salinité de chaque prélèvement furent vérifiées. Cette dernière période peut être considérée comme une phase de simple contrôle de l'évolution de ces deux facteurs.

2°) Sur les résurgences et en mer. Les observations qui figurent sur le tableau 1 concernent le travail fait sur les eaux mêmes de l'étang; elles ont constitué la base essentielle de ce travail, mais elles ont été complétées par d'autres données que l'on peut qualifier d'annexes, en ce sens qu'elles étaient susceptibles d'éclairer certaines particularités du régime hydrologique de l'étang.

Ainsi, au cours des huit années sur lesquelles ont porté cette étude, 91 prélèvements ont été effectués dans les deux principales résurgences dont les eaux se déversent dans le sud-ouest de l'étang; leur teneur en divers ions a été établie, notamment en Cl^- , en Ca^{++} et en Mg^{++} ; de plus, au cours des années 1964-1965, les variations de débit de certaines résurgences ont été observées.

D'un autre côté, des prélèvements d'eau de mer furent également effectués et analysés afin de pouvoir comparer leur composition avec celle des eaux de l'étang; la plupart de ces prélèvements furent faits sur le rivage même de la mer, au voisinage immédiat de l'étang; cependant une série d'échantillons fut prélevée depuis le rivage jusque sur les fonds de 100 m.

Techniques et méthodes.

1°) Echantillonnage des eaux.

a) Nombre et répartition des stations. A la fois pour pouvoir établir des moyennes qui soient valables pour l'ensemble de l'étang et pour avoir la possibilité de comparer entre eux les divers

Années et dates	Nb de stations	Nb de prélève- ments	Facteurs étudiés			Années et dates	Nb de stations	Nb de prélève- ments	Facteurs étudiés		
			T°	Cl et S %	Ca et Mg				T°	Cl et S %	Ca et Mg
1955											
21 avril	15	21	+	+	—	19 février	12	15	+	+	+
10 mai	15	20	+	+	—	27 mars	20	26	+	+	+
16 juin	15	17	+	+	—	7 mai	19	35	+	+	+
15 juillet	15	15	+	+	—	13 juin	20	34	+	+	+
19 août	18	24	+	+	—	16 juillet	20	36	+	+	+
21 septembre	18	24	+	+	—	13 août	20	32	+	+	+
30 novembre	19	25	+	+	—	24 septembre	20	26	+	+	+
1956											
26 janvier	16	19	+	+	—	22 octobre	20	26	+	+	+
27 avril	18	24	+	+	—	19 novembre	20	26	+	+	+
14 mai	19	25	+	+	—	20 décembre	20	26	+	+	+
20 juin	7	8	+	+	—						
27 juin	19	25	+	+	—						
31 août	6	11	+	+	—						
1960											
10 juin	23	30	+	+	—	22 janvier	20	30	+	+	+
30 juin	19	25	+	+	—	28 février	20	27	+	+	+
8 août	21	27	+	+	—	18 mars	20	27	+	+	+
29 août	21	27	+	+	—	23 avril	20	27	+	+	+
15 septembre	21	27	+	+	—	10 juin	13	17	+	+	+
10 octobre	21	27	+	+	—	19 juin	2	4	+	+	+
9 novembre	21	27	+	+	—	7 juillet	2	4	+	+	+
3 décembre	7	11	+	+	—	26 août	11	16	+	+	+
1961											
17 février	20	26	+	+	—	11 septembre	9	12	+	+	+
17 mars	20	27	+	+	—	29 septembre	2	4	+	+	+
15 juin	20	26	+	+	—	15 octobre	2	4	+	+	+
23 août	15	15	+	+	—	18 novembre	3	5	+	+	+
3 novembre	16	21	+	+	—	22 décembre	2	4	+	+	+
28 novembre	18	23	+	+	—						
1962											
9 janvier	20	26	+	+	—	26 janvier	2	4	+	+	+
25 avril	20	26	+	+	—	25 février	2	4	+	+	+
14 juin	20	26	+	+	—	23 mars	2	4	+	+	+
14 août	20	26	+	+	—	29 avril	7	10	+	+	+
27 novembre	20	26	+	+	—	25 mai	8	10	+	+	+
1963											
1964											
1965											
17 février	20	26	+	+	—	26 janvier	2	4	+	+	+
17 mars	20	27	+	+	—	25 février	2	4	+	+	+
15 juin	20	26	+	+	—	23 mars	2	4	+	+	+
23 août	15	15	+	+	—	29 avril	7	10	+	+	+
3 novembre	16	21	+	+	—	25 mai	8	10	+	+	+
28 novembre	18	23	+	+	—	23 juin	4	7	+	+	+
1966											
1967											
1968											
1969											
1970											
1971											
1972											
1973											
1974											
1975											
1976											
1977											
1978											
1979											
1980											
1981											
1982											
1983											
1984											
1985											
1986											
1987											
1988											
1989											
1990											
1991											
1992											
1993											
1994											
1995											
1996											
1997											
1998											
1999											
2000											
2001											
2002											
2003											
2004											
2005											
2006											
2007											
2008											
2009											
2010											
2011											
2012											
2013											
2014											
2015											
2016											
2017											
2018											
2019											
2020											
2021											
2022											
2023											
2024											
2025											
2026											
2027											
2028											
2029											
2030											
2031											
2032											
2033											
2034											
2035											
2036											
2037											
2038											
2039											
2040											
2041											
2042											
2043											
2044											
2045											
2046											
2047											
2048											
2049											
2050											
2051											
2052											
2053											
2054											
2055											
2056											
2057											
2058											
2059											
2060											
2061											
2062											
2063											
2064											
2065											
2066											
2067											
2068											
2069											
2070											
2071											
2072											
2073											
2074											
2075											
2076											
2077											
2078											
2079											
2080											
2081											
2082											
2083											
2084											
2085											
2086											
2087											
2088											
2089											
2090											
2091											
2092											
2093											
2094											
2095											
2096											
2097											
2098											
2099											
2100											

TABL. 1. — Relevé des journées de prélèvements effectués dans l'étang et des facteurs étudiés.

secteurs, le nombre des stations de prélèvements fut relativement élevé à chaque mission. En 1955 les nombres de points de prélèvements que nous nous étions fixés étaient de quinze. Dès le mois de juillet de cette même année il s'accrut de quelques unités et s'éleva à dix-neuf; enfin pendant la seconde période des observations, de juin 1960 jusqu'en avril 1964, il s'établit à vingt. En réalité, dans quelques cas, il est arrivé que les prélèvements n'ont pu être faits à toutes les stations prévues, du fait des conditions météorologiques qui rendaient la navigation en barque trop difficile dans les zones non abritées. Cependant on peut considérer que dans l'ensemble le programme a été rempli

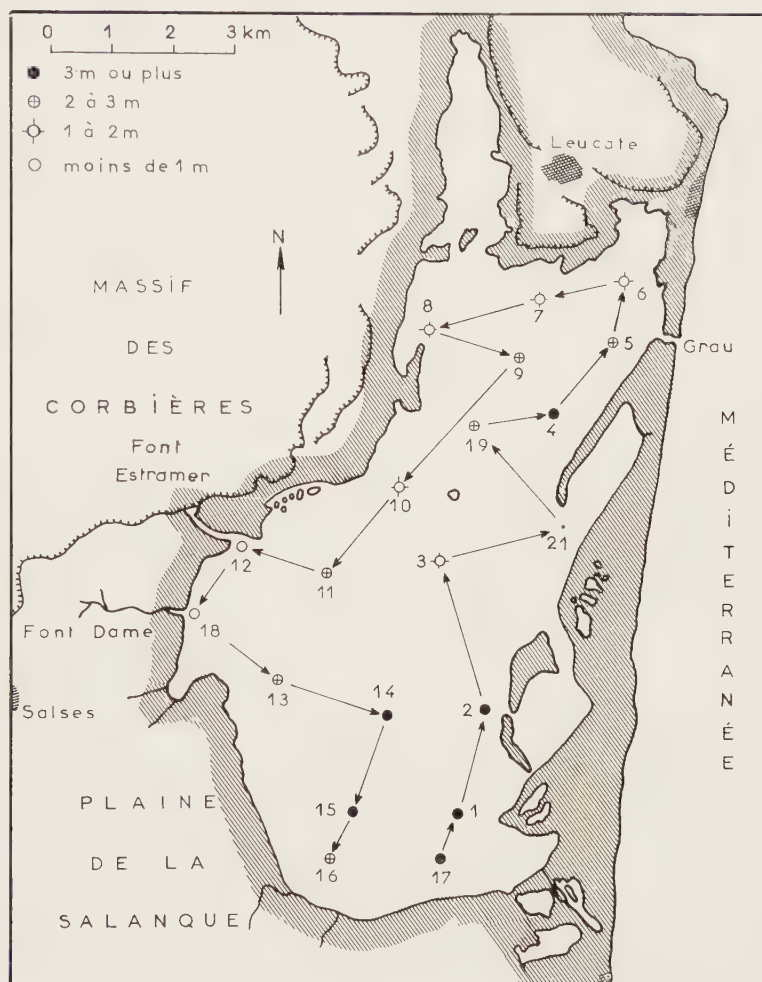


FIG. 6. — Répartition des stations de prélèvement avec le numéro conventionnel de chacune. Les flèches indiquent le trajet le plus habituellement effectué. Les diverses catégories de points correspondent aux profondeurs. La st. 21 n'a été visitée que très irrégulièrement et n'est pas comptée dans l'établissement des moyennes.

puisque la moyenne du nombre de stations par mission s'élève à dix-huit pour le total des années d'observations (la phase de simple contrôle, de juin 1964 à décembre 1965, étant cependant exclue).

L'emplacement approximatif des stations est porté sur la figure 6 avec le numéro conventionnel qui a été affecté à chacun; aux points situés sur des fonds atteignant au moins 3 m (points noirs de la figure 6) deux prélèvements étaient effectués, l'un en surface, l'autre près du fond. On remarquera que la dispersion des points assurait un contrôle de l'ensemble de la lagune, aussi bien dans la partie nord que dans la partie sud et que, presque tous, se situent en plein étang et non

en des points marginaux pouvant être affectés par des caractères hydrologiques singuliers et non représentatifs.

Sur l'ensemble de nos stations, deux ont cependant une position particulière qui mérite d'être signalée, ce sont la 12 et la 18 : elles se situent à l'endroit où débouchent, sous forme de forts ruisseaux ou même de petites rivières, les eaux émises par les résurgences déjà mentionnées. La station 12 correspond à l'embouchure de la Rigole ou du ruisseau de la Font Estramer et la station 18 à celle du ruisseau de Font Dame.

La station 21 également située sur des fonds très faibles a souvent présenté des caractères hydrologiques particuliers tels qu'on a dû la négliger dans le calcul des moyennes et dans l'établissement d'un bon nombre de graphiques quelle infléchissait anormalement.

b) Méthode de prélèvements; la température. L'ensemble des prises d'eau était fait à l'aide du matériel dont on se sert habituellement et depuis longtemps en hydrologie marine c'est-à-dire avec une bouteille à renversement munie d'un thermomètre donnant la température *in situ*.

Aux quelques stations où la profondeur de l'eau était insuffisante pour permettre le renversement de la bouteille (st. 12, 18 et 21), les prélèvements étaient faits avec un flacon lesté et la température était prise avec un thermomètre ordinaire. Cette façon de faire était également suivie pour les prélèvements faits aux résurgences de Font Dame et Font Estramer.

Les eaux prélevées à l'aide de la bouteille à renversement étaient conservées, en attendant les analyses, dans des flacons de 125 ml en polyéthylène; en règle générale ces analyses étaient faites dans les huit jours qui suivaient les prélèvements.

2°) Unités employées et méthodes d'analyse.

a) Teneurs en Cl. Méthode d'analyse. Fondamentalement la méthode suivie pour le dosage du chlore fut celle de Mohr, c'est-à-dire que le chlore est précipité par le nitrate d'argent et que l'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium.

La méthode de Mohr pouvant être appliquée selon des modalités variées, il doit être précisé que nous avons adopté celles qui sont les plus communément suivies par les océanographes et que l'on désigne couramment sous le nom de méthode de Knudsen; on en trouvera la description détaillée dans tous les ouvrages qui traitent de la chimie des eaux marines (ROUCH, 1946; SVERDRUP, JOHNSON et FLEMING, 1957; BARNES, 1959, etc.).

Une modification cependant a dû être apportée à la méthode classique dans les cas où la concentration du Cl est inférieure à 16 p. mille, ce qui arrive fréquemment pour les eaux lagunaires. Dans ces conditions, pour obtenir des résultats identiques à ceux que donnerait une burette de Knudsen, il suffit de recourir à une burette de type quelconque suffisamment divisée pour assurer une précision du même ordre de grandeur que la burette de Knudsen (burette divisée par 1/50^e de millilitre) et de diviser par deux le volume de nitrate écoulé pour le dosage (sur les burettes de Knudsen, et dans les conditions fixées par la méthode, 1 gramme de Cl correspond à l'écoulement de 2 millilitres).

Mode d'expression des résultats. Une des particularités de la méthode de Knudsen est que les résultats des dosages sont obtenus directement en grammes de Cl, non pas par litre d'eau, mais par kilogramme d'eau; c'est la chlorinité des océanographes, à laquelle est réservé théoriquement le symbole Cl ‰.

A divers titres, il demeure intéressant d'exprimer les teneurs de Cl en grammes par litre d'eau (symbole Cl/l) comme cela se fait habituellement dans les dosages volumétriques; cela devient même une nécessité si l'on veut établir correctement les rapports entre les quantités de chlore et celles d'ions dont les teneurs sont rapportées au litre. Certes la différence entre les deux modes d'expression est faible tant que les teneurs en Cl sont peu importantes, mais elle est déjà d'environ 0,1 g quand le Cl atteint 10 g p. mille et pour des teneurs doubles (ce qui n'est pas exceptionnel dans les eaux des lagunes) la différence est de l'ordre de 0,5 g.

Toutes les teneurs en chlore obtenues en Cl ‰ ont donc été également évaluées en Cl/l. La conversion d'un mode d'expression dans l'autre peut se faire sans difficultés soit à l'aide d'un abaque (CARTER et TULLY, 1937), soit plus commodément encore par l'usage combiné des tables de STRICKLAND et PARSONS (1960) et de celles de KNUDSEN (1901).

b) Le problème des salinités totales. On sait que dans la pratique courante des laboratoires océanographiques l'évaluation de la minéralisation totale des eaux n'est pas le résultat d'une mesure directe mais d'un calcul. Ce calcul repose sur la corrélation qui relie la teneur en $\text{Cl } \text{‰}$ à la salinité totale. DITTMAR (1884), le premier, mit en évidence que dans les eaux des divers océans non seulement on retrouvait toujours les mêmes ions mais encore que chacun d'eux représentait le même pourcentage du total des sels. En conséquence en dosant un ion avec précision il devient possible d'en déduire la salinité totale.

Toutes les modalités de la méthode de Mohr-Knudsen, mises au point pour le dosage du chlore en $\text{Cl } \text{‰}$, ont été échafaudées sur cette base et la partie des tables de Knudsen, qui donne la salinité en $\text{S } \text{‰}$ (grammes de sel par kilogramme d'eau) en fonction de la teneur en chlore ne sont qu'une application de la loi des proportions constantes de Dittmar.

Cependant il ne faut pas oublier que même pour les eaux marines la loi de Dittmar n'est qu'approchée et que la validité des tables de Knudsen a parfois été contestée pour certaines mers; il est cependant admis en océanographie que, sauf de rares exceptions, elles donnent des salinités réelles une valeur suffisamment approchée pour satisfaire aux buts poursuivis par les chercheurs.

En ce qui touche les lagunes, si la méthode de Knudsen est irréprochable et même très précise pour doser le chlore, rien ne prouve a priori que l'on puisse passer des teneurs en chlore aux salinités totales à l'aide des tables de Knudsen (ou de l'équation de corrélation sur laquelle les tables sont calculées). Les salinités obtenues de cette façon ne sont conformes à la réalité que dans la mesure où les pourcentages des divers ions présents dans la lagune sont identiques à ceux qu'on observe dans les eaux marines; autrement dit tout le problème est de savoir si les eaux lagunaires suivent la loi de Dittmar.

Il est tout à fait certain qu'il existe des unités d'eaux salées, même importantes qui, isolées des mers et océans, ont des compositions minérales complètement différentes de celle des eaux marines; on peut mentionner par exemple, la Caspienne ou la Mer d'Aral, parmi les unités citées par ZENKEVITCH (1963); alors qu'en moyenne, dans les océans, le chlore représente 55,59 % du total des sels, son pourcentage n'est plus que de 42 % en Caspienne et de 34 % en Mer d'Aral.

De même parmi les lagunes des côtes provençales étudiées par NISBET et SCHACHTER (1961) certaines, comme l'étang de Citis ou de l'Olivier notamment, présentent des rapports ioniques sensiblement différents des rapports marins.

A l'opposé, d'autres unités, même relativement peu ouvertes sur la mer, peuvent présenter une minéralisation, où les rapports mutuels des divers sels en solution sont du type océanique, tout en présentant parfois des salinités totales très inférieures à la moyenne observée dans les mers. Cela se présente aussi bien pour de grandes unités, comme la Mer Baltique, que pour certaines de nos lagunes méditerranéennes.

En ce qui touche précisément les eaux saumâtres et lagunaires, deux positions se sont parfois opposées en particulier parmi les chercheurs méditerranéens; les uns soutiennent que l'évaluation de la salinité totale, déduite des teneurs en $\text{Cl } \text{‰}$ à l'aide des tables de Knudsen, est une donnée aberrante et purement conventionnelle n'ayant pas plus de signification réelle que, par exemple, l'expression des salinités en CINa . Ils en concluent que, pour ces eaux, il vaut mieux exclure les salinités des données hydrologiques et se contenter d'exprimer les teneurs en chlore (SCHACHTER, 1950; PETIT, 1953; NISBET, SCHACHTER et PETIT, 1958).

Au contraire, d'autres chercheurs veulent assimiler toutes les eaux salées aux eaux marines et soutiennent que les salinités, déduites des teneurs en chlore, donnent une information intéressante et valable. Ils estiment en conséquence que les salinités, aisément obtenues de cette façon, doivent demeurer comme pour les océans un des paramètres essentiels pour caractériser les eaux saumâtres et lagunaires (AUDOUIN, 1962 pour l'étang de Thau; la plupart des travaux sur les lagunes italiennes donnent aussi les salinités tirées des tables de Knudsen : DE ANGELIS (1949) pour les étangs de Sardaigne, SACCHI et RENZONI (1962) pour l'étang de Fusaro, l'Institut d'Hydrobiologie de Messine pour les lagunes siciliennes, etc.). Nous pensons (RAIMBAULT, 1966 a) que le défaut de l'une et l'autre des positions précédentes est de vouloir établir une règle générale à partir de cas particuliers qui, pris isolément, justifient l'un ou l'autre des points de vue opposés.

En réalité parmi les unités d'eaux lagunaires et saumâtres il conviendrait de faire une distinction entre d'une part celles où les divers ions en solution sont dans des proportions identiques ou voisines des proportions qui caractérisent les eaux marines et d'autre part celles où les rapports ioniques sont tout à fait différents des rapports marins.

En conséquence dans les unités appartenant à la première catégorie, celles que l'on peut qualifier de submarines, les salinités totales peuvent être connues, au moins d'une manière très approchée, par les tables de Knudsen, à partir des teneurs en $\text{Cl } \frac{\%}{100}$, alors qu'elles ne le peuvent dans les autres unités.

Selon ces vues, à laquelle des deux catégories l'étang de Salses-Leucate appartient-il ? C'est une des questions à laquelle ce travail s'est efforcé de donner des éléments de réponse qui seront exposés en détail par la suite.

c) Teneurs en Ca et Mg. Pour doser le calcium et le magnésium la méthode retenue se rattache fondamentalement aux méthodes complexométriques mises au point par SCHWARZENBACH et collaborateurs.

DE SOUSA (1954) a donné une description détaillée de la méthode adaptée aux eaux marines. On trouvera également des précisions et quelques modifications de détail dans l'étude de BESADA et RODRIGUEZ (1962).

CHAPITRE III

LES TEMPERATURES DE L'ETANG : CARACTERISTIQUES ET CAUSES DES VARIATIONS

Avant d'aborder l'étude des facteurs susceptibles d'expliquer les variations des températures observées dans l'étang de Salses-Leucate, il est nécessaire de prendre une vue suffisamment précise des principaux traits qui définissent la « physionomie thermique » de la lagune.

Aussi ce chapitre comprendra-t-il deux parties, la première sera descriptive, la deuxième sera consacrée à rechercher l'explication des faits décrits dans la première.

A. - Caractéristiques thermiques de l'étang.

1°) Cycle annuel; variations des températures moyennes mensuelles.

Comme première approche, un graphique a été tracé pour donner l'allure générale des variations de températures au cours de l'année.

Cette courbe a été établie à partir des moyennes mensuelles de température. Ces moyennes mensuelles ont été calculées de la façon suivante : connaissant la température moyenne de l'étang pour chacune des journées de prélèvements (somme des températures à toutes les stations divisée par le nombre de stations), il a suffi de relever toutes ces températures moyennes observées au cours du même mois, pendant les huit années de l'étude, et de faire la moyenne de ces moyennes; ce sont les valeurs ainsi obtenues qui sont portées comme température moyenne mensuelle sur la figure 7.

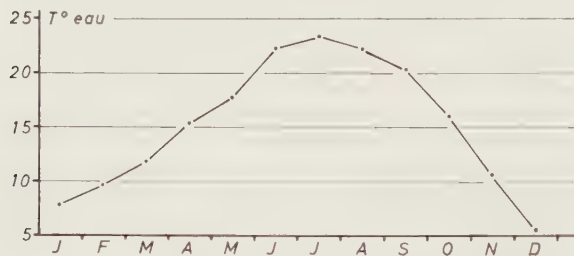


FIG. 7. — Moyennes mensuelles de la température des eaux de l'étang (1955-1956 et 1960 à 1965).

des cas, la moyenne mensuelle qui y figure ne correspond qu'à huit séries de prélèvements, c'est-à-dire aux données de huit journées d'un mois donné. Autrement dit les données portées sur la courbe

Pour l'interprétation de ce graphique, on doit donc avoir présent à l'esprit que, dans les meilleurs

ne prétendent pas représenter nécessairement les valeurs moyennes réelles; seuls des relevés quotidiens, comme les stations météorologiques peuvent en effectuer pour les températures de l'air, pourraient fournir de façon sûre de telles moyennes réelles.

Tel quel, le cycle annuel fourni par nos observations nous donne les principales indications suivantes.

Les températures maxima ont le plus souvent été observées en juillet; la valeur moyenne dépasse légèrement 23° . Dans le détail des années de plus hautes températures ont été parfois observées en juin et en août. La température moyenne journalière la plus élevée parmi nos observations dépasse légèrement 25° (juillet 1963).

On peut aussi remarquer qu'en général les moyennes mensuelles sont supérieures à 20° pendant les mois de juin, juillet, août et septembre.

Les températures les plus basses se situent, pour la moyenne de nos données, au mois de décembre; mais nos observations indiquent qu'elles peuvent s'observer en janvier et parfois en février.

Des températures moyennes journalières inférieures à 10° peuvent être enregistrées de novembre à mars inclus, mais celles-ci semblent assez rares pour ces deux mois limites (3 cas sur 11 observations); au contraire, en décembre et en janvier nous n'avons jamais obtenu une moyenne journalière supérieure à 10° ; les moyennes extrêmes, pour sept contrôles au cours de ces deux mois, s'établissent à $9^{\circ} 05$ et $3^{\circ} 19$.

S'il fallait du point de vue thermique diviser l'année en deux parties, les données fournies par ce cycle, corroborées par des observations biologiques, conduiraient à considérer les cinq mois allant de novembre à mars inclus comme constituant la mauvaise saison; les sept mois allant d'avril à octobre inclus formeraient la belle saison.

2°) Variations saisonnières aux diverses stations.

Si l'établissement d'un cycle annuel tel qu'il vient d'être décrit donne une bonne idée générale des variations de la température de l'étang, il est cependant nécessaire de prendre une vue plus détaillée, non seulement des variations au cours du temps, mais aussi des variations locales observées le même jour aux différentes stations de prélèvements.

Sur ce point, les observations recueillies sont extrêmement abondantes; à la suite de chaque série de prélèvements les températures observées étaient reportées sur une carte à l'emplacement de chacune des stations. Il est matériellement impossible de présenter toute la série de cartes ainsi élaborées, et d'un autre côté une telle accumulation de données ne pourrait qu'empêcher de saisir les traits saillants et vraiment caractéristiques de l'étang. En conséquence il nous a paru préférable de condenser l'ensemble des observations en quatre cartes saisonnières. Celles-ci fourniront un schéma de base auquel il suffira d'apporter ensuite les principaux compléments ou correctifs imposés par l'examen des données journalières.

Sur les cartes saisonnières (fig. 8 a, b, c et d) les températures indiquées aux différentes stations sont les moyennes de la totalité des températures observées à ces stations pendant les trois mois qui composent la saison envisagée et au cours des huit années.

De l'examen de chacune des cartes saisonnières on peut dégager les caractères qui suivent.

Figure 8 a. Cette carte présente la répartition des températures moyennes pendant les trois mois les plus froids : décembre, janvier et février.

On remarque que toutes les températures sont inférieures à 10° ; la moyenne totale est de $8^{\circ} 5$; l'écart maximum entre les températures extrêmes est de $2^{\circ} 5$.

On peut voir également que les températures aux stations 12 et 18, situées aux débouchés des résurgences, sont les plus élevées; c'est là que se trouve la zone la plus chaude et toutes les températures vont en décroissant au fur et à mesure qu'elles s'éloignent vers l'est.

Les relevés de températures opérés pendant cette saison sur le rivage même de la mer donnent une moyenne de $10^{\circ} 9$, donc nettement plus élevée que toutes les températures de l'étang.

Si l'on compare le bassin de Leucate à celui de Salses, la température moyenne du premier est de $8^{\circ} 4$ et celui de Salses de $8^{\circ} 6$. Mais en réalité, si l'on fait abstraction des stations 12 et 18



FIG. 8. — Cartes donnant les moyennes saisonnières des températures aux diverses stations. a : hiver (décembre, janvier et février) ; b : printemps (mars, avril et mai) ; c : été (juin, juillet et août) ; d : automne (septembre, octobre et novembre).

qui ont un caractère spécial, à la fois par leur position exceptionnellement marginale et du fait qu'elles sont au débouché des eaux de résurgences, la température moyenne du bassin de Salses tombe à $8^{\circ} 4$; elle devient donc égale à celle du bassin de Leucate.

Figure 8 b. Sur cette carte sont portées les températures des mois de mars, avril et mai.

De $8^{\circ} 5$ la moyenne d'ensemble est passée à $15^{\circ} 0$; l'écart entre la température maximum et la température minimum est de $2^{\circ} 9$.

Là encore les températures les plus élevées s'observent aux stations 12 et 18 et on note la même tendance à la décroissance en allant d'ouest en est.

Les eaux du rivage de la mer ont une température inférieure d'à peu près 1° à la moyenne de l'étang.

Entre le bassin de Leucate et celui de Salses la différence des températures est pratiquement inexistante si l'on inclut dans la moyenne les stations 12 et 18 (Leucate $14^{\circ} 9$; Salses $15^{\circ} 0$); si l'on fait abstraction de ces dernières stations, le bassin de Salses a une température moyenne inférieure de $0^{\circ} 2$ à celle du bassin de Leucate.

Figure 8 c. Les données qui figurent sur cette carte correspondent aux trois mois les plus chauds de l'année. La température moyenne est de $22^{\circ} 5$.

L'écart maximum est de 2° ; il est plus faible qu'au cours des deux saisons précédentes; cela tient en partie au fait que les températures des stations 12 et 18, tout en étant encore plus élevées, sont cependant moins différentes des autres.

La tendance générale des températures est toujours à la décroissance d'ouest en est.

Les eaux du rivage marin ont une température inférieure de 1° par rapport à la moyenne de l'étang et aucune station ne présente une température inférieure à celle de la mer.

Entre le bassin de Leucate et celui de Salses on observe exactement les mêmes rapports qu'au cours de la saison précédente : égalité de température moyenne en comptant toutes les stations ($22^{\circ} 5$ pour Leucate et pour Salses); infériorité de $0^{\circ} 2$ pour le bassin de Salses si l'on exclut les stations 12 et 18.

Figure 8 d. Les caractères des mois de septembre, octobre et novembre tels qu'ils apparaissent sur cette carte diffèrent sensiblement sur plusieurs points de ceux des trois saisons précédentes.

On observe toujours une décroissance globale des températures d'ouest en est, mais le pôle le plus chaud n'apparaît plus aussi nettement centré sur les stations 12 et 18.

Quant aux valeurs enregistrées, on peut remarquer que la moyenne d'ensemble est pratiquement égale à celle du printemps (8 b) avec $14^{\circ} 9$; mais l'écart entre la température maximum et la température minimum n'est plus que de $1^{\circ} 9$ (au lieu de $2^{\circ} 9$ au printemps); comme en été cela vient surtout de ce que les stations 12 et 18 ne sont plus aussi nettement différentes des autres stations.

C'est également pendant cette saison que la différence entre les deux bassins est la plus accentuée, avec une supériorité en faveur du bassin de Salses; celle-ci atteint $0^{\circ} 5$ et $0^{\circ} 7$ selon qu'on fait abstraction ou non des stations 12 et 18.

Enfin l'automne est la saison où la différence de la température moyenne de l'étang est la plus importante par rapport à la température des eaux du rivage de la mer; celle-ci qui est de $18^{\circ} 2$ l'emporte de plus de 3° sur la température moyenne de l'étang.

Il ne faut pas oublier que les caractères qui viennent d'être exposés reposent sur des moyennes trimestrielles; ce sont donc des données condensées où les observations journalières les plus insolites et, souvent les plus suggestives, risquent d'être atténuées et même de disparaître. En conséquence il convient de compléter ces informations en apportant quelques précisions sur l'importance de la dispersion des données journalières autour des caractères moyens trimestriels.

3°) Variations journalières aux diverses stations.

a) *Amplitude des variations.* Les moyennes saisonnières, avons-nous vu précédemment, laissent apparaître des écarts allant à peu près de 2 à 3° entre le prélèvement le plus chaud et le prélèvement le plus froid de l'étang ($2^{\circ} 5$ en hiver, $2^{\circ} 9$ au printemps, $2^{\circ} 0$ en été et $1^{\circ} 9$ en automne).

Si l'on examine, non plus les moyennes trimestrielles, mais les températures relevées à chacune des journées de prélèvements, l'hétérogénéité entre les stations apparaît fatalement plus importante.

Pour donner une idée précise de cette dispersion, et en même temps essayer de voir s'il y a une relation entre l'importance de ces écarts et la période de l'année, un graphique a été établi où figurent répartis par mois, les écarts maxima journaliers observés au cours de 47 journées de prélèvements (fig. 9).

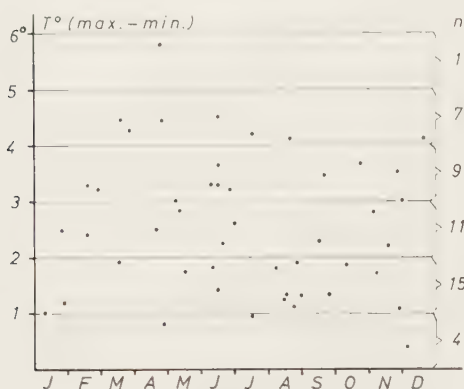


FIG. 9. — Maximum des écarts observés entre la température la plus élevée et la température la plus basse au cours de 47 journées de prélèvements (1955-1956 et 1960 à 1964).

élevée, les exceptions ne sont cependant pas rares (à peu près 1 cas sur 3). Il existe même un cas extrême, observé le 24 septembre 1963, où la température la plus basse a été relevée à l'une de ces stations (st. 12) (fig. 10).

Il n'en demeure pas moins vrai que les données de ces deux stations accentuent fortement le caractère d'hétérogénéité des températures de l'étang. Si l'on en fait abstraction, la moyenne des écarts maxima tombe de 2° 6 à 1° 8 et on ne relève plus que quatre cas, au lieu de dix-sept où ces écarts dépassent 3 °C.

b) Orientation des variations. Les données saisonnières laissent apparaître que dans tous les cas les températures allaient en diminuant de l'ouest vers l'est.

L'examen des cartes journalières permet d'apporter des précisions sur la fréquence de ce type de variations des températures. Sur 44 journées, où les prélèvements furent les plus nombreux, ou peut en relever à peu près une trentaine où l'on observe une distribution des températures analogue à celle que présentent les cartes saisonnières. Ce gradient de décroissance d'ouest en est avec, presque toujours, une incurvation plus ou moins marquée des isothermes près des rives nord du bassin de Leucate, est donc apparemment un trait caractéristique de l'étang.

La figure 11 peut servir à illustrer ce type de distribution à l'échelle journalière; cependant il représente un cas limite en ce qui touche le bassin de Leucate, pour lequel un gradient NO-SE tend à se superposer au gradient O-E.

Si les variations de températures de l'étang se présentent à peu près deux fois sur trois avec ce gradient de décroissance d'ouest en est, il n'en reste pas moins d'autres relevés qui diffèrent sensiblement de ce schéma.

Ces autres cas offrent des types de distributions des températures beaucoup plus variés et complexes. Pour 14 cartes journalières qui s'écartent du type classique on observe au moins 10 schémas de variations.

Il n'est pas question de décrire en détail chacun de ces cas particuliers, ni de les figurer. Une énumération des principales éventualités qui peuvent se présenter suffira pour donner une idée de la variété de ces cartes.

Il apparaît que dans 36 % des cas les différences de température ont dépassé 3°. L'écart le plus important s'élève à 5° 8 et a été observé le 23 avril 1964. La moyenne des écarts maxima est de 2° 6.

De plus la figure 9 montre qu'aucune corrélation linéaire ne se dégage entre l'importance des écarts de températures et la période de l'année. Il convient cependant de remarquer que de septembre à février inclus, sur 19 relevés, on ne note qu'un seul écart supérieur à 4°, alors que pour les six autres mois de l'année, de tels écarts s'observent 7 fois sur 28 journées de prélèvements.

D'un autre côté, dans les commentaires sur les cartes saisonnières nous avons souligné l'importance particulière que les stations 12 et 18, situées au débouché des eaux de résurgences, jouaient sur les écarts de température. L'examen des données journalières précise le rôle de ces stations. On y constate que si le plus souvent (32 cas sur 47) ces stations fournissent la température la plus

Par exemple les deux bassins peuvent avoir leurs températures les plus basses vers le centre des cuvettes; on aura alors d'ouest en est d'abord une descente des températures, puis une remontée (2 cartes sur 14 répondent à ce schéma). Il peut arriver que l'un des deux bassins seulement présente ce creux de température vers le centre, tandis que l'autre montre une décroissance d'ouest en est (cas observé cinq fois sur quatorze), trois où la dépression thermique se situe du côté de Leucate et deux où elle se trouve du côté de Salses. Parfois encore, on note les plus hautes températures vers le centre du bassin de Salses et, soit une décroissance d'est en ouest dans le bassin de Leucate (28 novembre 1961), soit une dépression thermique vers le centre de ce bassin (30 novembre 1955).



FIG. 10 et 11. — Carte des températures observées le 24 septembre 1963 (à gauche) et le 23 avril 1964 (à droite).

Quant aux cinq derniers cas, la répartition de leurs températures est plus complexe encore et échappe davantage à la systématisation. La figure 10 qui présente au moins trois gradients de variations différents peut servir à illustrer un de ces cas enchevêtrés. On peut dès maintenant faire remarquer que ces distributions les plus difficiles à classer ont toutes été observées des jours où les différences extrêmes de températures étaient très faibles (inférieures à 2°).

c) Comparaison entre les deux bassins. L'examen comparé des données journalières pour Salses et pour Leucate fait ressortir des différences qui, sans être très importantes, sont cependant plus accentuées que ne le laissent entrevoir les données saisonnières.

Sur 44 séries de prélèvements la température moyenne du bassin de Salses l'emporte 35 fois sur celle du bassin de Leucate. Il est vrai que la différence entre les deux ne dépasse qu'une seule fois 1 °C (1° 25 en faveur de Leucate le 25 avril 1962). La supériorité de Salses n'est que de 0° 3 en moyenne par journée de prélèvements.

Si l'on fait abstraction des stations 12 et 18 situées au débouché des eaux de résurgence, dans le bassin de Salses les températures sont encore, le plus souvent, supérieures (26 fois sur 44) mais elles ne l'emportent que de 0° 1 en moyenne.

B. - Causes des variations des températures.

Généralités.

Quelle que soit la complexité des phénomènes qui régissent les échanges thermiques entre l'atmosphère au voisinage du sol, le sol lui-même ou les milieux aquatiques qui le recouvrent, il n'en reste pas moins évident que les températures de ces divers milieux sont fonction de l'énergie qui provient du rayonnement solaire; la répercussion la plus sensible qui en résulte, au niveau des milieux terrestres, est une variation des températures selon un cycle annuel absolument parallèle au cycle de la durée des jours.

Néanmoins si les courbes annuelles des températures de l'air et de l'eau, épousant l'une et l'autre la courbe de la durée des jours, présentent constamment un étroit parallélisme entre elles, on peut observer cependant un certain déphasage dans le temps de la courbe de l'eau par rapport à celle de l'air; de plus, les valeurs absolues des températures dans les deux milieux ne sont pas forcément identiques.

On ne doit pas oublier que si deux milieux placés dans la même situation et soumis à la même source d'énergie calorifique tendent à prendre la même température, l'obtention de cette identité ne sera simultanée que si les deux milieux ont une chaleur spécifique égale. Or précisément la chaleur spécifique de l'eau est extrêmement élevée par rapport à celle de l'air et, corrélativement, sa conductibilité thermique est beaucoup plus faible. Il en résulte que sous l'effet d'une augmentation des radiations solaires, la température de l'eau montera moins vite que celle de l'air; pour les mêmes raisons, la baisse de température, consécutive à une diminution de l'énergie radiante, se fera sentir plus lentement dans l'eau que dans l'air. Toutefois l'importance de cet effet de régulation est elle-même fonction de la masse et de la profondeur de l'unité aquatique considérée. Si le rôle des masses océaniques, en tant que régulateur des températures est évident et bien connu, il est non moins évident que l'effet de régulation joué par une lagune sans profondeur comme l'étang de Salses-Leucate sera incomparablement moins élevé.

Cela dit, quand les variations des températures de l'air et de l'eau sont examinées au jour le jour, on constate que la courbe annuelle continue n'est que la résultante moyenne d'une multitude de variations journalières en dents de scie. Cela tient à ce que dans chaque région divers facteurs extrêmement variables peuvent intervenir pour réduire plus ou moins les effets thermiques des radiations solaires à l'échelle journalière.

Déjà, du fait de l'alternance du jour et de la nuit, l'énergie solaire reçue, dans une journée de 24 heures oscille nécessairement entre un maximum et un minimum; il est cependant admis que la moyenne de ces deux températures définit la température d'un jour donné. Ensuite, à un moment donné, l'énergie rayonnée peut être plus ou moins absorbée avant d'atteindre le niveau du sol, selon l'importance des nuages ou de l'humidité de l'air; ainsi la nébulosité, ou au contraire l'insolation (au sens météorologique du terme), auront une influence sur les températures observées. Enfin un autre facteur météorologique peut encore apporter quelques modifications aux températures que normalement, à une période et dans une région données l'énergie solaire établirait : ce facteur c'est le vent. Celui-ci peut agir en transférant d'une région à l'autre des masses d'air ayant des températures plus élevées ou plus basses; mais aussi un vent violent agissant sur une nappe aquatique peut devenir un agent de refroidissement par l'évaporation intense qu'il provoque.

Nous allons nous efforcer de préciser le rôle joué par ces divers facteurs pour expliquer les principaux caractères thermiques de l'étang décrits précédemment.

Il ne s'agira pas bien entendu d'analyser directement les relations entre les températures de l'eau et l'intensité de l'énergie solaire rayonnée, mais entre l'eau et les autres facteurs couramment contrôlés, lesquels reflètent plus ou moins directement l'effet de cette énergie telle qu'elle est reçue au sol : l'insolation et surtout les températures de l'air.

Ces relations entre les températures de l'air et de l'eau seront étudiées à divers points de vue allant du plus général au particulier : au niveau des moyennes mensuelles et des moyennes journalières et ensuite au niveau des températures observées dans les divers secteurs de l'étang. A tous ces stades les influences dues à l'effet de régulation, à l'intervention du vent, à certaines particularités propres à l'étang ou aux conditions de l'étude seront examinées.

1° - Relation entre les moyennes mensuelles des températures de l'air, de l'eau et de l'insolation.

L'insolation, au sens météorologique du mot, laquelle s'exprime en nombre d'heures sans nuages, est un premier facteur qui est en corrélation étroite, particulièrement dans le Midi méditerranéen, avec la durée des jours et donc avec le cycle annuel du rayonnement solaire.

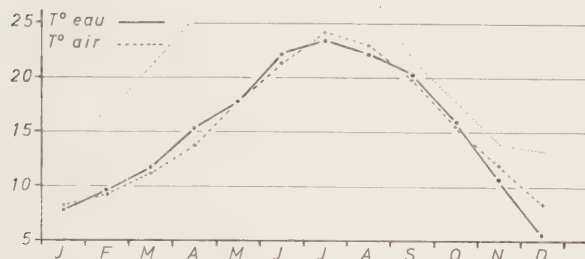


FIG. 12. — Courbes des moyennes mensuelles des températures de l'air (ligne en tirets) et de l'eau (trait plein) et des heures d'insolation (pointillé).

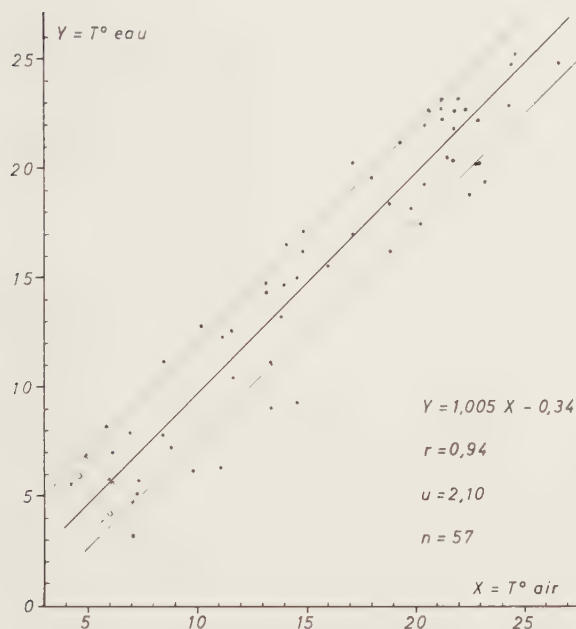


FIG. 13. — Corrélation de 57 moyennes journalières de la température de l'eau (Y) avec la température de l'air (X).

deux températures. Quant aux principales informations que les données chiffrées nous fournissent sur la liaison des deux facteurs, ce sont les suivantes :

le coefficient de régression (1,005) et la faible correction de l'ordonnée (— 0,34) indiquent qu'en moyenne la valeur absolue des deux températures est extrêmement voisine.

le coefficient de corrélation r ($= 0,94$), étant très proche de 1, indique un degré de liaison élevé entre la température de l'eau et celle de l'air.

De plus le carré du coefficient de corrélation r correspond théoriquement au pourcentage de la variance totale du facteur étudié (température de l'eau) qui est effectivement lié aux variations de l'autre facteur (température de l'air); dans le cas présent le carré de r indique que 88 % de

Il n'est donc pas sans intérêt, dans un premier temps, de mettre en évidence l'interdépendance qui existe entre cette insolation d'une part et les températures de l'air et de l'eau de l'étang d'autre part. Pour ce faire, il suffit de juxtaposer et de comparer les courbes qui caractérisent le cycle annuel de chacun de ces trois facteurs (fig. 12).

Certes un tel graphique où les moyennes de l'insolation et des températures de l'air sont calculées sur les 30 ou 31 jours de chaque mois, tandis que celles de l'eau ne le sont que pour un nombre de jours beaucoup plus réduit, ne peut prétendre à la rigueur. L'étroit parallélisme des trois courbes n'en souligne pas moins à quel point, à l'échelle de l'année, les températures de l'air et de l'eau sont étroitement liées aux variations de l'insolation.

2° - Relation entre les moyennes journalières de l'air et de l'eau.

a) *Corrélation statistique entre les températures de l'air et de l'eau.* Pour préciser la corrélation qui lie les températures de l'eau à celles de l'air un graphique a été établi sous la forme d'une droite de régression où les températures de l'eau sont portées en ordonnées et celles de l'air en abscisses (fig. 13).

Ces températures sont non plus des moyennes mensuelles mais des données journalières; chaque point correspond aux coordonnées de la température moyenne de l'étang observée au cours d'une journée de prélèvements, et à la température moyenne de l'air le même jour.

Un tel graphique, établi selon des méthodes statistiques éprouvées, a l'avantage de fournir des indications précises, autant en lui-même que par les valeurs calculées pour le dresser.

La répartition des points indique de la façon la plus nette qu'une corrélation linéaire relie les

l'ensemble des variations de la température de l'eau se trouvent liés aux variations des températures moyennes journalières de l'air.

Il est facile également de chiffrer la dispersion moyenne des points expérimentaux autour de la droite de régression; pour cela il suffit de calculer le résidu quadratique moyen u . Celui-ci est égal à 2,10; autrement dit, si on admet que la distribution des variations de températures est normale et symétrique autour de la moyenne, statistiquement 68 % des points du graphique doivent se situer dans une bande définie par l'équation de régression $\pm 2^\circ 10$, soit :

$$T^\circ \text{ de l'eau} = 1,005 \times T^\circ \text{ de l'air} - 0,34 \pm 2,10$$

Cette bande s'obtient graphiquement en portant deux lignes parallèles à la droite de régression, située de part et d'autre de cette droite et correspondant respectivement à $+2^\circ 10$ et $-2^\circ 10$ en ordonnées.

On peut vérifier que la réalité donne sur ce point des résultats très proches des prévisions statistiques; en effet 40 points sur 57 (soit 70 %) se trouvent compris dans la bande ainsi définie.

Un intérêt pratique découle de ces données; on peut connaître la température moyenne de l'étang à partir de la température moyenne de l'air, tout en précisant le degré de confiance et la marge d'approximation qui s'attache à la valeur ainsi déterminée.

Au total les informations fournies par ces données confirment que les températures moyennes de l'étang suivent en général de très près les variations des températures moyennes de l'air. Toutefois, elles indiquent également que, pour une part, les températures de l'eau ne sont pas liées aux températures moyennes de l'air et relèvent donc d'autres causes qui doivent être étudiées maintenant.

b) *Causes des différences entre les températures de l'air et de l'eau (effet de régulation de l'eau, vent, insolation)*. Le paragraphe précédent dégage que les températures moyennes de l'eau, tout en étant généralement proches de celles de l'air, en diffèrent cependant plus ou moins. Pour expliquer ces différences, le premier facteur que l'on doit invoquer c'est naturellement l'effet de régulation joué par l'eau. Comme l'importance de son influence est indissociable des facteurs météorologiques (vents et insolation) le jeu de ces divers éléments va être étudié en même temps.

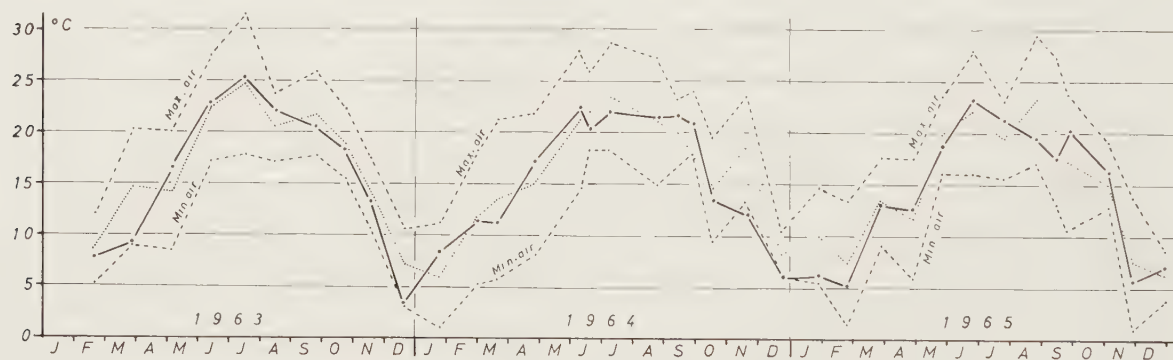


FIG. 14. — Comparaison des températures moyennes journalières de l'étang (trait plein) et des températures de l'air le même jour (pointillé : moyenne de l'air; tirets : maximum et minimum de l'air).

Etant donné la relative faiblesse de cet effet de régulation que laisse présumer les données exposées précédemment, pour mieux dégager son influence, on doit recourir à une analyse plus détaillée des températures journalières. Pour cela un graphique a été tracé où se trouvent portées les températures moyennes de l'étang à chaque sortie de prélèvements et, en regard, pour l'air, non seulement la température moyenne, mais aussi le maximum et le minimum du jour (ces températures de l'air sont celles de la Station météorologique de Perpignan-Llabanère). La figure 14 présente la partie de ce graphique qui se rapporte aux années les plus riches en observations.

La première constatation qui ressort de ce graphique c'est que, sauf une seule exception, la température moyenne de l'eau est toujours comprise entre les limites des températures maxima et minima du jour des prélèvements; pour l'ensemble de nos observations comprenant les années 1955 et 1956 et de 1960 à 1965, on relève 63 cas sur 64 où cette règle se vérifie.

De plus ce graphique confirme de manière concrète que, la plupart du temps, l'écart entre la température moyenne de l'eau et la température moyenne de l'air est très faible; sur les 64 journées d'observations, on ne relève que 17 cas où la différence est supérieure à 2 °C. Dix de ces cas se situent dans les années 1963, 1964 et 1965 et apparaissent sur la figure 14. (On remarquera que le pourcentage de ces cas correspond à peu près à celui des points situés hors des limites de u sur la figure 13).

Toutes ces observations indiquent que le décalage moyen, pour l'ensemble de l'étang, dû à l'effet de régulation, doit être le plus souvent de l'ordre de quelques heures seulement. Une telle sensibilité aux facteurs thermiques permet d'expliquer de multiples façons les faibles différences de températures observées entre l'air et l'eau.

Quand la température moyenne de l'eau est inférieure à celle de l'air, il se peut que cela tienne uniquement à l'effet de régulation, tout particulièrement pour les prélèvements opérés en hiver; en effet étant donné que les prélèvements d'eau étaient le plus souvent effectués entre 9 h et 14 ou 15 h, il est logique que l'action refroidissante des nuits, beaucoup plus longues que les jours en cette saison, se fasse encore sentir sur l'eau et infléchisse ses températures vers le minimum au moment du contrôle; de plus la différence pourra s'observer même en été (ou se trouver accentuée en hiver) par l'adjonction de quelqu'autre facteur de refroidissement (vent ou absence d'insolation).

Quand, au contraire, la température de l'eau est supérieure à la température moyenne de l'air, si l'observation se situe au cours de la belle saison et par temps ensoleillé, le phénomène n'est pas surprenant; étant donné la faiblesse de l'effet de régulation, il est normal que la température moyenne de l'eau contrôlée entre 9 h et 15 h se situe déjà entre la moyenne et le maximum de la température de l'air. Bien entendu, même en été, ce rapport normal des températures de l'air et de l'eau pourra être contrarié et annihilé, soit par l'action refroidissante du vent ou par l'absence d'insolation. Notons que, selon la logique, c'est beaucoup plus souvent à la belle saison qu'on observe ces cas où les températures de l'eau sont supérieures à la moyenne de l'air; il n'en reste pas moins qu'on relève quelques cas où ce phénomène se situe en hiver; il va en être parlé dans les paragraphes suivants.

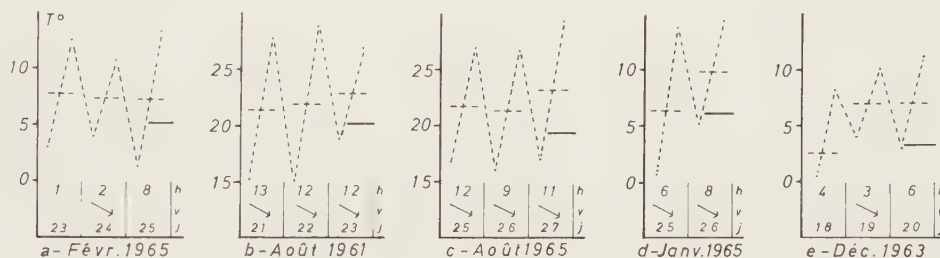


FIG. 15. — Comparaison de 5 températures journalières de l'étang, inférieures à la moyenne de l'air, avec divers autres facteurs thermiques observés le même jour et les jours précédents. Trait plein horizontal : température moyenne de l'étang; en tirets : oscillations des températures de l'air, avec la moyenne à l'horizontale; h : nombre d'heures d'insolation; v : vents (la flèche indique l'orientation); j : date.

L'examen plus détaillé de certains cas parmi les 17 jours où la différence entre les températures moyennes de l'air et de l'eau dépasse 2 °C va nous permettre de préciser le rôle des divers facteurs qui viennent d'être évoqués; de plus il nous montrera que, dans certaines circonstances particulières, un effet de régulation jouant sur beaucoup plus de temps que d'ordinaire peut expliquer soit l'importance de certaines différences, soit encore des anomalies comme l'observation en hiver de températures de l'eau supérieures aux températures de l'air.

Pour analyser ces cas singuliers un relevé a été fait des températures de l'air (moyenne, maximum et minimum), non seulement du jour des prélèvements, mais aussi des trois jours qui l'ont précédé. Pour ces mêmes jours, les autres facteurs météorologiques pouvant avoir une influence sur les températures furent également notés (vents, insolation, précipitations).

Parmi les jours où les températures de l'air et de l'eau présentent des contrastes relativement importants 12 sur 17 forment la catégorie où la température de l'eau est moins élevée que celle de l'air.

La figure 15 présente cinq cas typiques appartenant à ce groupe. Toutes les causes pouvant

contribuer à rendre la température de l'eau inférieure à celle de l'air s'y retrouvent, isolément ou conjointement : insolation nulle ou faible le jour des prélèvements ou les jours qui ont précédé (fig. 15 a); influence des vents de tramontane capables à eux seuls d'annihiler l'effet d'une forte insolation, même en été (fig. 15 b). La figure 15 c présente un cas situé également en plein été où le vent semble encore avoir joué le rôle prépondérant, mais où son effet refroidissant a été renforcé par une hausse assez brusque de la température de l'air (sous abri à la Station de Perpignan-Llabanère) et une insolation moyenne la veille des prélèvements.

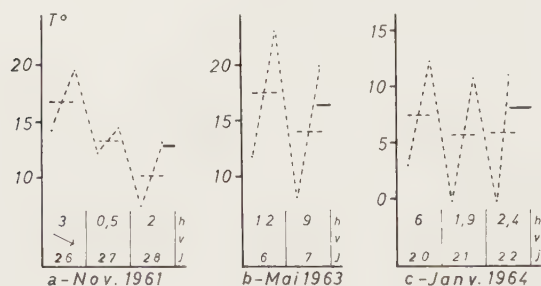


Fig. 16. — Comparaison des trois températures journalières de l'étang, supérieures à la moyenne de l'air, avec divers autres facteurs thermiques observés le même jour et les jours précédents (mêmes signes et abréviations qu'à la figure 15).

La principale explication de la supériorité des températures de l'eau par rapport à l'air se trouve être analogue à celle qui a été exposée précédemment pour les cas d et e de la figure 15; il s'agit là aussi d'un phénomène de régulation lente, liée à une brusque variation des températures de l'air, mais ici dans le sens du refroidissement; les figures 16 a, 16 b et 16 c en fournissent quelques illustrations.

Naturellement là encore l'effet de régulation peut se trouver renforcé du fait que le jour et la veille des prélèvements furent des jours de calme plat. L'insolation a pu jouer aussi pour le cas de mai 1963 (fig. 16 b), elle fut très forte pendant les trois jours qui ont précédé les prélèvements et nettement plus faible ce jour là.

3° - Causes de l'hétérogénéité des températures dans les divers secteurs de l'étang.

Tout ce qui vient d'être exposé précédemment se rapporte à l'effet global des divers facteurs sur la température moyenne de l'étang. Pour compléter cette étude des causes qui agissent sur les températures de la lagune il convient de s'arrêter encore sur le fait de l'hétérogénéité des températures observées le même jour aux diverses stations de l'étang, autrement dit sur le fait que les mêmes facteurs thermiques se révèlent avoir des effets différents sur les divers secteurs de la lagune.

Dans la partie descriptive, la figure 9 donne une image de cette hétérogénéité, chaque point représentant la différence entre la température la plus élevée et la température la plus faible.

A priori trois sortes d'explications peuvent être avancées pour rendre compte de cette hétérogénéité : l'existence d'apport d'eaux extérieures à l'étang, la variété des profondeurs aux divers points de prélèvement et le fait que les températures n'étaient pas mesurées simultanément à toutes les stations.

Il reste pour terminer ce chapitre à essayer de préciser l'influence de ces trois éléments sur l'hétérogénéité des températures.

a) Influence des apports extérieurs d'eau.

Au chapitre premier, il a été dit que des eaux issues des résurgences de réseaux karstiques souterrains se déversaient de façon permanente dans la partie ouest du bassin de Salses ; on a vu

Les figures d et e soulignent le fait qu'il peut exister en hiver un effet de régulation tel que l'influence des températures de l'air de la veille (15 d) ou même de l'avant-veille (15 e) se font encore sentir le jour des prélèvements. Cela s'observe quand il y a une brusque et importante remontée des températures de l'air. Bien entendu cet effet de régulation lié à une variation brusque des températures de l'air peut encore se trouver renforcé par le jeu des autres facteurs tels que le vent (fig. 15 d) ou la faible insolation (fig. 15 e).

Quant au groupe des cinq cas où au contraire la température de l'eau est sensiblement supérieure à la température moyenne de l'air, il est à remarquer que jamais la différence n'atteint des valeurs aussi élevées que dans la catégorie précédente; elle ne dépasse que de peu 2° sauf dans un cas où elle atteint presque 3 °C.

que la majeure partie de ces déversements se trouvait canalisée par deux petits cours d'eau vers l'étang, la Rigole, au nord, qui évacue les eaux de la Font Estramer et le ruisseau de Font Dame plus au sud (fig. 1). Ce furent là certainement les apports d'eaux extérieures de beaucoup les plus abondants pendant les principales années de notre étude c'est-à-dire en 1955 et 1956 et de 1960 à 1965.

En regard, les apports d'eaux marines par le grau de Leucate furent beaucoup moins réguliers et selon toutes les apparences beaucoup moins importants; toutefois il convient de rappeler que depuis la fin de l'année 1965, qui a vu l'achèvement du grau Saint-Ange, les possibilités d'apports en provenance de la mer ont considérablement augmenté.

Les eaux des résurgences. La description des caractères thermiques de l'étang présentée dans la première partie de ce chapitre faisait apparaître qu'habituellement, mais non toujours, les stations 12 et 18 situées à l'embouchure même de la Rigole et du ruisseau de Font Dame fournissaient les températures les plus élevées; c'est ce que laissent apparaître les données moyennes fournies par les cartes saisonnières (fig. 8 a, b, c et d). Il a été plusieurs fois souligné que les températures relevées à ces stations augmentaient sensiblement l'hétérogénéité des températures journalières de l'étang; enfin l'existence d'un gradient de décroissance des températures d'ouest en est dans la majorité des cas laisserait facilement penser que la température de ces eaux de résurgences est à l'origine de ce phénomène.

Cependant il est facile d'apporter la démonstration que ce n'est là qu'une apparence trompeuse et que ces eaux, dès leur sortie à l'air libre, subissent beaucoup plus l'influence commune des facteurs météorologiques, qu'elles n'imposent leurs propres qualités thermiques.

Il convient de préciser d'abord que la température des eaux des différentes résurgences contrôlées près de leur sortie à l'air libre, est relativement constante; 33 mesures faites en toutes saisons et au cours de plusieurs années, à une résurgence du ruisseau de Font Dame, donnent une moyenne de 17° 7; la différence des températures extrêmes est de 1° 4. Pour la Font Estramer 38 mesures donnent une moyenne identique de 17° 7, avec un écart maximum de 1° 9.

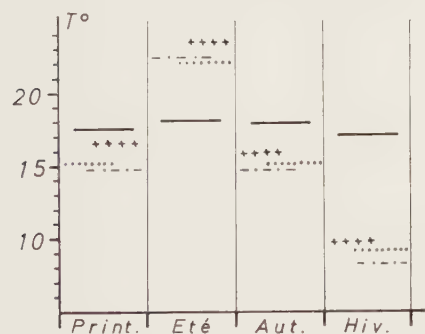


FIG. 17. — Comparaison des températures moyennes saisonnières de différentes eaux et de l'air. Pointillés : air; trait plein : eau des résurgences; croix : températures aux st. 12 et 18; points et tirets : moyenne de l'étang.

En opposition avec cette constance de température il est remarquable de constater la variation des températures prises aux débouchés de ces eaux dans l'étang, c'est-à-dire aux stations 12 et 18. Sur la figure 17 se trouve reportées quatre moyennes saisonnières : celle des eaux de résurgences, celle de l'air pour les jours correspondant aux prélèvements, celle des températures observées aux stations 12 et 18 et enfin la température moyenne de l'étang.

L'examen des données, pour les saisons où la température de l'air s'éloigne le plus de la température des résurgences (l'été et l'hiver), souligne particulièrement à quel point la température initiale des eaux des résurgences subit rapidement l'influence des températures de l'air (et donc certainement des autres facteurs météorologiques) et se trouve du fait même beaucoup plus proche des températures moyennes du reste de l'étang que de sa température originelle.

On peut constater même qu'en été les températures aux stations 12 et 18 sont en moyenne plus éloignées de la température des eaux des résurgences que ne le sont l'ensemble des

eaux de l'étang; ce phénomène sera expliqué par la suite, de même que le fait signalé antérieurement, que de temps à autre, contrairement à la règle, on observe aux stations 12 et 18 des températures qui ne sont pas les plus élevées de l'étang.

Sans qu'il soit nécessaire d'entrer davantage dans les détails, les données que présente la figure 17 suffisent amplement à prouver que d'une manière très générale l'influence des eaux de résurgences sur les températures de l'étang ne put être qu'insignifiante et pratiquement nulle.

Cette même figure 17 semble indiquer que les eaux des résurgences contribuent tout de même en hiver à accroître légèrement la température des eaux au voisinage des embouchures. Ce relèvement de température apparaît de façon plus accentuée aux saisons intermédiaires où la tempé-

rature de l'air, tout en étant inférieure, est cependant très proche de celle des eaux des résurgences (au printemps en particulier). Nous verrons par la suite comment il faut interpréter cette légère influence locale et si elle n'est pas susceptible d'être expliquée par d'autres causes.

Ce qui vient d'être dit sur l'insignifiance de l'influence thermique de l'apport des eaux de résurgences, exclut absolument l'hypothèse que le gradient de décroissance des températures d'ouest en est, souvent observé, puisse s'expliquer par ces apports.

Ajoutons, pour terminer cet examen du rôle thermique des résurgences, que la quasi-nullité de ses effets ne peut surprendre que faute de réfléchir aux données physiques qui sont en jeu. L'ensemble des phénomènes peut être ramené à un problème classique de mélanges. Dans la réalité les données du problème sont extrêmement complexes du fait que l'eau déversée, ainsi que la masse qui la reçoit, ne sont pas isolées et subissent des variations continues de températures; mais en simplifiant à l'extrême, et en supposant qu'à un moment donné les 90 millions de m³ de l'étang reçoivent 100 000 m³ d'eau à 18° (ce qui représente un apport de 1 800 millions de kilocalories) cet apport de chaleur ne modifierait la température de l'étang que de 0° 02. Autrement dit, en se donnant des conditions fictives, faisant abstraction de toute déperdition et exagérant grossièrement l'apport calorifique des résurgences, on aboutit à un résultat qui se situe déjà en-deçà des limites de mesure des thermomètres habituellement utilisés.

Les apports marins. Ce qui vient d'être dit à propos de l'influence thermique des eaux continentales garde toute sa valeur en ce qui touche les apports d'eaux marines; étant donné la faiblesse des échanges et la plus grande homéothermie entre les deux masses d'eau, il ne peut être que superflu de vouloir leur attribuer des effets thermiques sensibles, si minimes soient-ils.

Cela est confirmé par l'examen comparatif des températures relevées dans l'étang en 1966 et 1967, après l'ouverture du nouveau grau Saint-Ange; malgré son importance beaucoup plus grande que l'ancien grau de Leucate, son influence thermique sur l'étang ne peut être mise en évidence.

Déjà certaines données d'AUDOUIN (1962) dans son étude hydrologique de l'étang de Thau montrent à quel point l'influence thermique des venues d'eau, même relativement considérables, se trouve rapidement neutralisée à quelques centaines de mètres du point d'entrée dans la lagune.

b) Effets dus à l'hétérogénéité bathymétrique.

Il est inutile d'insister sur le fait qu'une même quantité d'eau soumise à une même source de chaleur verra sa température s'élever d'autant plus rapidement qu'elle est étalée sur une plus grande surface et donc sur une plus faible épaisseur. Cela tient au fait que les radiations infra-rouges, dont le rôle est spécifiquement thermique, sont presque totalement absorbées par les premiers décimètres de la couche superficielle de l'eau; leur action de réchauffement n'agit donc directement que sur une faible profondeur et n'atteint les couches plus profondes qu'indirectement par l'effet des phénomènes de conduction et les mouvements de convection ou autres qui assurent un brassage de l'eau.

La conception des marais salants, où l'eau est répartie sur de grandes surfaces et sur une faible profondeur, constitue une application pratique de ces lois.

On peut donc se demander si la diversité des températures observées le même jour dans l'étang ne s'explique pas en partie par les différences de profondeur aux points où se faisait le contrôle des températures.

L'examen de la figure 1 et 2 donne une idée de l'hétérogénéité de ces profondeurs. A ce point de vue, les stations habituelles de prélèvements peuvent se classer de la manière suivante.

Bassin de Salses. Cinq stations se situent sur des fonds atteignant au moins 3 m (1, 2, 14, 15 et 17).

trois stations sur des fonds de 2 à 3 m (11, 13, 16),

deux stations sur des fonds de 1 à 2 m (3 et 10),

deux stations sur des fonds notablement inférieurs de 1 m et n'atteignant souvent pas plus de 0,50 m. Il s'agit précisément des stations 12 et 18 faites aux débouchés des ruisseaux de Font Dame et Font Estramer.

Bassin de Leucate. La classification des 7 stations en fonction de la bathymétrie est moins facile pour certaines d'entre elles qu'elle ne l'était dans le bassin de Salses.

Si l'on considère d'abord la surface relativement restreinte du bassin, jointe à une variété de profondeurs presque aussi grande que dans le bassin de Salses (fig. 1), si, de plus, on connaît la difficulté qu'il y a sur l'eau à se replacer au même point et surtout à y rester ne serait-ce que 10 à 15 mn sans dériver, on comprendra qu'il ne soit pas possible dans tous les cas de fixer de façon très rigoureuse et détaillée les données bathymétriques correspondant à chaque station. Ces réserves étant faites on peut cependant admettre les indications suivantes :

les stations 6 et 8 correspondent toujours à des profondeurs voisines de 1 m (parfois un peu moins surtout à la 8);

les stations 4, 5 et 9 se situent sur des profondeurs toujours supérieures à 2 m; le plus souvent la 4 se trouvait même sur des fonds d'au moins 3 m;

à la station 7 la profondeur pouvait varier de 1 à 2 m;

la station 19 enfin, théoriquement située sur les fonds de 2 à 3 m, a été contrôlée parfois à moins de 2 m.

Sur la figure 6 divers signes permettent de vérifier la répartition des profondeurs en correspondance avec l'emplacement des stations telle qu'elle vient d'être précisée.

Pour démontrer que cette hétérogénéité des profondeurs a pu jouer un rôle dans l'hétérogénéité des températures observées, le même jour, aux divers points de contrôle, les données de quinze journées d'observations effectuées pendant l'année 1963 et le début de 1964 ont été examinées. Cette période a été choisie parce qu'elle est celle où précisément l'hétérogénéité des températures journalières a été la plus forte.

Pour chacune de ces quinze journées l'importance de la dispersion des températures aux diverses stations a été évaluée par l'amplitude des températures observées, c'est-à-dire par l'écart qui sépare la température la plus élevée de la température la plus faible. Mais pour dégager le rôle joué par la diversité des profondeurs, les écarts maximum ont été relevés de quatre manières différentes, de telle sorte qu'ils embrassent une diversité de profondeur de moins en moins importante. Pour ce faire, les quatre séries d'amplitudes ont été établies en rapport avec les quatre catégories de profondeur définies ci-dessus.

En premier les écarts maximum ont été pris en tenant compte des températures relevées aux 19 stations, ils correspondent donc aux températures relevées au-dessus des fonds allant de 50 cm à 3,50 m. La ligne supérieure de la figure 18 délimite la série des quinze amplitudes prises de cette façon.

La deuxième ligne de la figure 18 correspond aux écarts maximum observés entre les 17 stations situées sur des fonds allant de 1 m à 3,50 m. La différence entre la ligne supérieure et celle-ci indique donc à quel point les températures relevées aux stations 12 et 18 accroissent l'hétérogénéité de la série des températures relevées.

La troisième ligne figure la limite des amplitudes des températures observées aux 11 stations situées au-dessus des fonds allant de 2 à 3,50 m. Enfin pour établir la ligne inférieure il n'a été tenu compte que des températures relevées aux 6 stations faites sur les fonds atteignant au moins 3 m de profondeur.

Ainsi cette figure 18 souligne de la façon la plus nette l'existence d'une corrélation fort importante entre l'hétérogénéité des températures observées le même jour et l'hétérogénéité des profondeurs aux points de contrôle.

L'attention doit être attirée sur le fait que l'hétérogénéité en question ne concerne pas les profondeurs auxquelles les températures étaient mesurées, mais les profondeurs de l'étang aux points de contrôle. En effet, en ce qui touche les profondeurs dont la température était contrôlée il convient de rappeler qu'à toutes les stations où la hauteur d'eau permettait à la bouteille à renversement de se retourner les températures étaient contrôlées au même niveau au-dessous de la surface de l'étang (approximativement à 1 m sous la surface). A des stations telles que la 8 ou la 6, où la profondeur ne dépassait pas ou presque pas 1 m, la température était prise à environ 20 cm au-dessus du fond; le renversement de la bouteille était obtenu en relevant brusquement aussitôt que le messenger avait libéré la partie supérieure. Comme il a déjà été mentionné antérieurement aux stations 12 et 18, la

faiblesse de la profondeur ne permettait pas l'utilisation de la bouteille à renversement, les échantillons d'eau sur lesquels on mesurait la température étaient prélevés avec un flacon ordinaire à 20-30 cm de profondeur.

Ces précisions étant rappelées, il est bon de revenir sur les enseignements que nous fournit la figure 18. Elle met non seulement en évidence que l'échelle des températures obtenue à chaque série de prélèvements est d'autant plus grande que la diversité des profondeurs aux points de contrôle est plus importante, mais en même temps elle souligne que l'hétérogénéité des températures est d'autant plus accentuée que les stations retenues pour établir l'amplitude se situent sur des fonds plus faibles; sur la figure, l'espace entre deux lignes voisines est d'autant plus grand qu'elles incluent des températures prises sur des fonds de moindre importance; de haut en bas ces interlignes vont en diminuant.



FIG. 18. — Variations des écarts maximum de température observés sur 15 journées (1963-1964) en fonction de l'hétérogénéité des profondeurs d'eau aux points d'observations. Ligne supérieure, limite des écarts en comptant les 19 stations (et donc les profondeurs allant de 0,50 à 3,50 m); 2^e ligne : limite des écarts, si l'on exclut les st. 12 et 18 (1 à 3,50 m); 3^e ligne : écarts maximum entre les 12 stations sur fonds supérieurs à 2 m; ligne inférieure : écarts entre les 6 stations sur fonds égaux ou supérieurs à 3 m.

Ainsi se trouve mis en évidence le fait que la profondeur de la couche d'eau, aux divers points de l'étang où la température était contrôlée, a eu une extrême importance sur les valeurs observées.

Quand on a pris conscience du rôle de ce facteur bathymétrique une multitude de résultats qui paraissaient plus ou moins incompréhensibles à première vue deviennent clairs.

Ainsi il a été exposé dans le paragraphe précédent que les résultats observés aux débouchés des eaux de résurgences ne pouvaient s'expliquer par la température originelle de ces eaux; la figure 18 montrait qu'elles paraissaient essentiellement soumises à l'influence des facteurs thermiques météorologiques, et même qu'elles les reflétaient de façon plus accentuée que le reste des eaux de l'étang. Il ne fait aucun doute que cette observation est exacte, et que cette « sensibilité » plus élevée aux facteurs thermiques vient de ce que la profondeur de l'eau aux stations 12 et 18 était très faible.

Si l'on examine minutieusement les cartes journalières, il est impossible de trouver un seul exemple qui pourrait démontrer que la température de 17-18° des eaux des résurgences a eu une influence indéniable sur les températures observées aux stations 12 et 18. Il est intéressant par exemple d'examiner les données d'une journée très froide particulièrement favorable pour déceler un éventuel réchauffement des stations 12 et 18 par l'eau des résurgences; la journée du 20 décembre 1963 répond à ces conditions puisque la température moyenne de l'étang ne fut que de 3° 2 (la plus basse que nous ayons observée). Sur la carte de ce jour il apparaît bien que les températures aux stations 12 et 18 sont nettement plus élevées que toutes les autres, avec une moyenne de 5° 9, tandis que les plus élevées parmi les autres n'atteignent pas 4°; spontanément on serait tenté d'attribuer cette supériorité à l'influence des eaux des résurgences qui alors sortaient à l'air libre à 17° 3. Mais en réalité on peut vérifier que, ce jour-là, la température moyenne de l'air fut de 7° 1, que l'insolation fut assez bonne pour cette période de solstice et qu'il n'y eut pas de vent (fig. 15 e); il est donc tout à fait normal que sous la simple influence des conditions météorologiques la température des stations 12 et 18 aient atteint 5° 9. Cette façon de voir est confirmée par l'examen des températures relevées aux autres stations; toutes celles qui se situent sur les fonds de 1 à 2 m ont des températures comprises entre 3 et 4°; quant à celles qui correspondent aux profondeurs atteignant 3 m ou plus elles oscillent entre 2 et 3°. Cette journée du 20 décembre 1963 avait été relevée précédemment, avec d'autres, pour illustrer un cas de décalage relativement important dû au phénomène de la régulation (fig. 15 e et texte correspond); le phénomène était alors étudié par son effet sur la température moyenne de l'étang. Les données détaillées de toutes les températures telles qu'elles viennent d'être exposées montrent qu'en réalité le décalage dans les divers secteurs de l'étang est variable et directement fonction de la profondeur des eaux.

La justesse de cette interprétation est encore corroborée par l'observation des températures relevées par des journées où un facteur de refroidissement, tel que la tramontane, fut particulièrement actif. Ces cas sont relativement rares du fait que cette condition s'opposait à la navigation sur l'étang; cependant le 10 octobre 1960 la série complète des stations a été faite avec une tramontane moyenne à forte. L'examen des températures en fonction des profondeurs de l'étang, montre aussi bien pour le bassin de Leucate que pour celui de Salses que les températures les plus élevées s'observent dans les zones les plus profondes; les stations situées sur le pourtour des cuvettes donnaient des températures plus faibles; la moyenne pour les fonds supérieurs à 2 m est de $15^{\circ} 9$; celle des fonds de 1 à 2 m est de $15^{\circ} 2$ et celle des stations 12 et 18 est de $15^{\circ} 5$. On remarquera que cette dernière moyenne, bien que correspondant aux fonds les plus faibles, n'est pas la plus basse. A cela il convient de faire remarquer que les stations 12 et 18 se trouvent relativement abritées de la tramontane; il est remarquable que les températures les plus basses furent observées ce jour-là à la station 6 ($14^{\circ} 45$) et à la station 21 ($14^{\circ} 15$) (cette station qui n'était pas visitée régulièrement se situe sur la rive est comme la station 6 et sur de faibles fonds (fig. 6).

Bien que cela ne soit pas très fréquent, il resterait encore à expliquer le fait déjà signalé que parfois les températures observées aux stations 12 et 18 sont, sinon les plus faibles (ce qui est tout de même arrivé une fois) mais cependant plus basses que les stations voisines du bassin de Salses situées sur les fonds de 2 à 3 m et cela sans qu'on puisse invoquer de facteurs refroidissants ayant agi plus fortement sur les faibles profondeurs. Ce fait sera examiné dans le paragraphe suivant et nous verrons qu'il s'agit d'exceptions confirmant la règle.

Etant donné l'importance jouée par les caractères bathymétriques de l'étang on peut encore se demander, en terminant ce paragraphe, si ces caractères n'expliquent pas l'existence si fréquente d'un gradient de décroissance thermique d'ouest en est. Il est en effet très remarquable que ce gradient correspond précisément au profil topographique du fond de l'étang qui descend graduellement de l'ouest vers l'est et remonte brusquement très près de la côte orientale; dans le bassin de Leucate la descente vers les fonds de 3 m est également assez lente dans le sens nord-sud. Quand on fait le rapprochement entre ces caractères topographiques et la répartition des températures journalières la plus fréquemment rencontrée on est frappé de voir comment les températures, dans leur allure générale, semblent refléter la topographie des fonds. Si l'on regarde dans cette optique les cartes saisonnières (fig. 8) ou une carte journalière comme la figure 11, entre autres détails on notera cette incurvation d'est en ouest des isothermes situées au nord du bassin de Leucate. On serait facilement, mais vainement, tenté de l'expliquer par une influence quelconque du grau alors qu'en fait elle reflète seulement une différence de sensibilité aux facteurs thermiques en relation avec les profondeurs d'eau.

Cela dit, il convient de faire remarquer d'abord que ce type de distribution avec décroissance d'ouest en est, bien que la plus fréquemment observée, présente cependant un certain nombre d'exceptions; dans la partie descriptive de ce chapitre il a été signalé que dans 14 cas sur 44 le schéma habituel ne s'observait pas. En second lieu, on peut objecter à la thèse développée ici, qu'en ce qui touche le bassin de Salses, le fait d'observer des températures décroissantes jusqu'aux stations situées les plus à l'est (st. 1, 2, 17) constitue une anomalie; en effet les profondeurs à la verticale de ces stations sont du même ordre de grandeur qu'aux stations 14 et 15; on devrait donc observer habituellement des températures voisines à toutes ces stations centrales et orientales et non des infériorités aussi marquées et aussi fréquentes aux stations situées le plus à l'est.

Là encore pour répondre à cette remarque et à ces objections nous devons examiner la dernière cause qui peut être invoquée pour rendre compte de l'hétérogénéité des températures journalières.

Avant de le faire, on peut déjà apporter une conclusion à ce paragraphe. Il s'avère que la diversité des températures observées dans l'étang au cours d'une même journée tient pour une très grande part au fait très banal qu'aux différents points de contrôle les profondeurs d'eau étaient elles-mêmes très diverses. Autrement dit on est amené à constater que c'est une erreur commune de vouloir considérer la masse de l'étang comme un tout dans ses réactions à l'influence des facteurs thermiques; en réalité les décalages de températures provoqués par le phénomène de régulation sont d'autant plus grands que l'épaisseur de la couche d'eau est elle-même plus importante.

c) Effets dus à la non-simultanéité des observations.

Une durée variant de 5 à 8 h séparait la première observation de la dernière. Il est bien certain que pendant ce temps les facteurs qui commandaient les températures de l'eau ne sont que très rarement constants. Par temps clair l'insolation notamment peut varier considérablement et aussi par voie de conséquence la température de l'air; ces variations sont particulièrement importantes en été. Il n'était pas exceptionnel non plus que la série de prélèvements commencée par temps calme se soit terminée par une plus ou moins forte tramontane, survenue au cours des déplacements sur l'étang.

Etant donné ce que les paragraphes précédents ont révélé sur la haute « sensibilité » thermique de l'étang, les considérations présentes permettent de se demander dans quelle mesure les températures observées un jour donné ont pu être influencées par les décalages de temps qui séparaient leur mesure.

Pour éclairer ce problème il faut apporter quelques précisions concrètes sur l'organisation des sorties de prélèvements. Comme il est indiqué sur la figure 6 par la direction des flèches, le départ et l'arrivée se faisaient toujours sur la rive sud du bassin de Salses et dans la grande majorité des cas, le départ vers le nord se faisait en passant par les stations les plus à l'est du bassin de Salses (17, 1, 2, 3), assez rarement, mais quelquefois un détour était fait vers le centre du bassin, à la station 14, avant de poursuivre vers la station 3 et le bassin de Leucate. Le retour se faisant par l'ouest, la partie occidentale du bassin de Salses était prospectée en dernier; le parcours se terminait par les stations les plus centrales du bassin (14-15 et 16).

Ainsi pour la plupart des journées d'observations, les températures aux stations extrêmes orientales étaient mesurées 5 h plus tôt qu'aux stations centrales voisines (14 et 15) situées, rappelons-le, sur des fonds à peu près identiques. On est donc conduit tout naturellement à se demander si l'infériorité habituelle des températures à l'est par rapport au centre, infériorité qui ne justifie pas les profondeurs, ne s'explique pas par ce décalage horaire des mesures.

Ce qui va suivre permet de répondre en toute certitude par l'affirmative.

En effet si la série des stations était généralement prospectée dans l'ordre qui vient d'être rappelé, il est tout de même, et heureusement, arrivé parfois (7 fois) que le parcours ait été pris exactement dans le sens inverse; les stations centrales 15 et 14 se trouvaient donc visitées les premières et les stations de l'est (2, 1, 17) les dernières. La conséquence de cette inversion c'est que pour ces 7 journées sans aucune exception les rapports d'infériorité ou de supériorité entre les stations centrales et extrêmes orientales du bassin sont inverses de ce qu'on observe habituellement. Ces jours-là le gradient de décroissance ne se poursuit pas jusqu'aux stations 1, 2 et 17; ces 7 journées font partie de celles qui présentent un « creux » de température dans la région centrale du bassin de Salses.

La figure 10 offre un bel exemple de ce gradient inversé dans la partie est; ce jour-là la sortie commença à 9 h 30 par la station 16 puis 15, 14, 13, etc.; elle se termina à 15 h par les stations 2, 1 et 17.

Inversement la figure 11, avec un gradient de décroissance qui s'étend jusqu'aux stations les plus orientales du bassin de Salses, offre l'image de ce qu'on retrouve presque toujours quand le pourtour a été suivi dans le sens habituel.

Entre les termes suivants: décroissance jusqu'aux stations extrêmes orientales et début de parcours par celles-ci, ou au contraire remontée des températures à ces stations et parcours fait dans le sens habituel, la relation est tellement constante, dans le bassin de Salses, qu'au seul examen des cartes journalières des températures on peut dire sans risque de se tromper par où la série a commencé et par où elle s'est terminée; on peut même préciser quand le départ s'est fait par l'est, si la station centrale 14 a été visitée lors de la remontée vers le nord, comme cela se faisait parfois, où si elle n'a été contrôlée qu'en fin de parcours; dans le premier cas sa température est du même ordre de grandeur que celles des stations orientales et inférieure à celle de l'autre station centrale n° 15 (fig. 19).

Aussi l'anomalie signalée précédemment en ce qui touche l'infériorité habituelle des températures aux stations les plus orientales du bassin de Salses alors qu'elles sont situées sur des fonds aussi importants que les stations centrales du même bassin, se révèle n'être qu'une pseudo-anomalie

due à la non simultanéité des contrôles ; il est tout à fait certain qu'en réalité au même moment les températures des unes et des autres sont identiques et qu'elles subissent des variations du même ordre de grandeur au cours du temps.

D'autres observations, concernant toujours le bassin de Salses et plus particulièrement les températures aux stations situées au débouché des résurgences dans l'étang (st. 12 et 18) relèvent entièrement ou partiellement de la même explication.



FIG. 19. — Carte des températures observées le 21 septembre 1955, avec indication du trajet effectué.

Il a été signalé antérieurement que parfois les stations 12 et 18, bien que correspondant aux fonds les plus faibles ne présentaient pas les températures les plus élevées de l'étang. Ainsi qu'il a été exposé dans le paragraphe précédent, pour un certain nombre de ces cas la cause de ce phénomène est qu'un facteur de refroidissement particulier sévissait (la tramontane par exemple) agissant d'autant plus activement que les fonds sont plus faibles. Mais il est également tout à fait significatif que sur les 7 journées où la série des stations s'est effectuée en commençant par l'ouest, on en relève 5 où les stations 12 et 18 ne fournissent pas les températures les plus élevées. Celle du 24 septembre 1963 (fig. 10) est particulièrement remarquable puisque ce jour-là la station 12 présentait la température la plus basse; ce fait qui n'a été observé qu'une seule fois s'explique par la conjonction de plusieurs causes : d'une part ces stations ont été visitées le matin et d'autre part il y eut à la fois une tramontane de force moyenne et une insolation médiocre (aucune des températures de l'étang n'a dépassé, ni même atteint, la température moyenne de l'air ce jour-là).

Cette incidence du décalage sur les températures observées dans le bassin de Salses est tout à fait claire et certaine. Au contraire elle ne peut être systématiquement décelée dans le bassin de Leucate et le fait n'a rien de surprenant. Il suffit de remarquer l'étendue relativement restreinte du bassin et la place que sa visite occupait dans notre parcours (qu'il se fasse dans un sens ou dans l'autre), pour voir que toutes les

stations étaient contrôlées en une heure ou deux au maximum.

Ce que nous venons d'exposer sur les effets entraînés par la non simultanéité des observations de température vient confirmer et préciser avec clarté tout ce qui se dégageait des paragraphes précédents, à savoir l'extrême mobilité thermique de l'étang, et donc la relative faiblesse de l'effet de régulation de ses eaux.

Résumé.

De l'examen des caractéristiques thermiques de l'étang et des causes qui les expliquent ressortent les points suivants.

1° Dans ses grandes lignes telles qu'elles sont mises en évidence par les moyennes mensuelles, la courbe annuelle des températures des eaux de l'étang se confond presque avec celle des températures de l'air. A ce niveau il est impossible de déceler des décalages systématiques dus à l'effet de régulation ; pour cela il faut descendre à l'examen des données journalières.

2° Etablie sous forme d'une équation de régression, une analyse de la corrélation qui relie les températures moyennes journalières de l'étang à celles de l'air, fait ressortir que cette corrélation linéaire est d'un degré élevé ($r = 0,94$) ; elle indique que les variations thermiques du premier milieu sont liées aux variations du second pour 88 % de leur total.

3° Allant un peu plus loin dans l'analyse si, pour comparer les températures moyennes de l'étang aux températures de l'air on tient compte non seulement des moyennes journalières de l'air mais de ses variations quotidiennes entre un minimum et un maximum, on constate que la

température de l'étang se situe régulièrement entre les deux températures extrêmes de l'air. Ce n'est donc que dans ces limites restreintes que peut apparaître l'effet de régulation dû à l'eau. Cette régulation se manifeste dans certains cas par un décalage de plusieurs degrés sur la température moyenne de l'air, soit vers le maximum, soit vers le minimum du jour.

L'examen des décalages les plus importants relevés au cours des années d'observations montre qu'ils sont dus soit à des variations brusques et importantes (plusieurs degrés) de la température de l'air, soit à l'intervention d'un facteur de refroidissement agissant sélectivement sur le milieu aquatique (la tramontane), facteur dont l'action est renforcée ou réduite par l'absence ou la présence de l'insolation.

En définitive la portée de cet effet de régulation apparaît comme extrêmement faible ; il est assez rare qu'il faille remonter aux conditions thermiques de la veille pour expliquer les températures du jour.

4° Les principaux enseignements qui résultent de l'examen de l'hétérogénéité des températures observées le même jour sont les suivants.

a) L'influence thermique due aux eaux extérieures (résurgences et apports marins) peut être considérée comme nulle.

b) La cause principale de l'hétérogénéité des températures réside dans l'hétérogénéité des profondeurs de l'étang aux diverses stations de contrôle. Autrement dit l'effet de régulation est d'autant plus marqué dans un sens ou dans l'autre, que les profondeurs sont plus importantes.

Les effets dus à cette hétérogénéité des profondeurs sont évidemment atténués par toutes les causes qui favorisent le brassage de l'eau (vent) mais toutes les observations montrent qu'ils sont toujours décelables.

Cette constatation a son importance du fait qu'elle s'inscrit en faux contre la tendance courante à considérer de telles unités aquatiques comme un tout homogène et à chercher l'explication des hétérogénéités thermiques uniquement dans les facteurs externes.

c) Toutes les analyses précédentes indiquaient que d'une manière générale l'effet de régulation manifesté par la masse d'eau de l'étang était peu important ; une confirmation frappante en est fournie par le fait qu'un changement systématique et constant dans la distribution des températures se trouve lié au sens du parcours effectué pour visiter les stations. On constate qu'au cours d'une durée de 5 à 6 heures les températures, même aux points les plus profonds du bassin de Salses, peuvent varier parfois de plus d'un degré.

CHAPITRE IV

LES SALINITÉS ET LEURS VARIATIONS : DESCRIPTION

A. - Préliminaire : à propos de la minéralisation exprimée en « salinités » (Knudsen).

Dans ce chapitre se trouveront exposées les observations concernant les sels dissous dans l'eau. Avant d'aborder le sujet proprement dit, il convient de dire un mot sur l'option, qui a été prise dans ce travail, de retenir les salinités comme principale donnée sur la minéralisation des eaux.

Antérieurement, dans le chapitre traitant des unités employées et des méthodes suivies, le paragraphe intitulé « le problème des salinités totales » expose la controverse que soulève le fait d'adopter les tables de Knudsen pour les lagunes. Selon nous (RAIMBAULT, 1966 a), de même que pour les mers marginales ou fermées étudiées par ZENKEVITCH (1963), on doit distinguer deux catégories parmi les lagunes ; celles à caractères submarins pour lesquelles l'évaluation des salinités par les tables de Knudsen peut être obtenue à quelques décigrammes près et celles qui sont tellement différentes des mers qu'il n'y a plus aucun rapport entre la teneur en Cl et la totalité des sels. Il est clair que pour ces dernières, la « salinité » tirée des tables de Knudsen ne serait en réalité qu'une donnée conventionnelle prêtant à confusion et qu'il vaut mieux éviter.

En revanche, si les lagunes ont des caractères tels que les salinités peuvent être obtenues de manière très approchée par les tables de Knudsen, il serait très regrettable de se priver d'un tel paramètre dans des travaux qui n'exigent pas une très haute précision (de l'ordre du cg ou du mg par ex.) ; son intérêt n'est plus à démontrer aussi bien du point de vue physico-chimique que du point de vue écologique.

Dans ce travail, l'étang de Salses-Leucate a précisément été rangé dans la catégorie des lagunes à caractères submarins, pour lesquelles l'expression des salinités tirées des tables de Knudsen est valable. Ce qui suit va être consacré à dégager certains arguments qui permettent de considérer cet étang comme tel. Des données complémentaires et plus précises seront apportées, sur ce sujet, dans un chapitre ultérieur.

Puisque le fondement et la justification de la méthode de Knudsen reposent essentiellement sur la loi des proportions constantes de Dittmar, le critère pour distinguer les deux catégories d'eaux lagunaires ne peut reposer que sur l'examen des rapports ioniques : ou bien ces rapports sont constamment du même ordre de grandeur que ceux observés dans les eaux marines, ou bien ils s'en écartent de façon notable, habituellement ou temporairement.

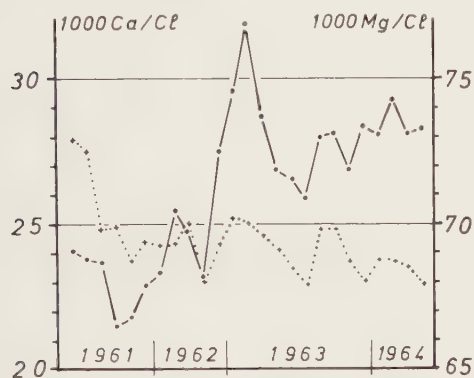


FIG. 20. — Variations des rapports Ca/Cl et Mg/Cl dans l'étang de Salses-Leucate. Traits pleins : Ca/Cl ; pointillés : Mg/Cl . Les points et les croix correspondent à des moyennes de séries journalières.

Pour ce qui est de l'étang de Salses-Leucate, il a été signalé précédemment que 661 analyses des teneurs en calcium et en magnésium furent effectuées ; ces dosages correspondent à 25 journées de prélèvements réparties sur quatre années. Il est donc possible d'avoir une appréciation solide des variations du rapport entre chacun de ces deux ions et le chlore.

Le fait d'avoir de nombreuses données sur les quantités de Ca est particulièrement précieux, car c'est habituellement l'ion dont la teneur relative est la plus sensible aux influences des apports d'eaux douces (GRIPENBERG, 1937 ; HARVEY, 1960) ; certaines données de GOT (1965), sur lesquelles nous reviendrons confirment que les eaux de l'étang de Salses-Leucate n'échappent pas à cette règle.

En conséquence, si réduits que furent nos dosages au point de vue qualitatif, il est hautement probable que l'examen des rapports entre les trois ions analysés suffit pour établir si l'étang de Salses-Leucate doit être classé comme marin ou pas.

La figure 20 présente les moyennes des rapports Ca/Cl et Mg/Cl observées pendant plusieurs années.

Pour des facilités de lecture, les ions Ca et Mg étant toujours en quantités incomparablement plus faibles que l'ion Cl, les rapports ont été élevés à 1 000. La série des points sur le graphique correspond aux 25 journées de prélèvements et chacun des 25 rapports a été établi en prenant la moyenne des teneurs observées aux diverses stations le même jour.

Rapports Ca/Cl (1 000 Ca/Cl). La moyenne s'établit à 26,3 et sauf une exception les rapports se maintiennent entre 21 et 30.

Tout le problème consiste donc à décider si une telle marge de variations rentre dans les normes observées pour les eaux considérées comme marines.

Il convient d'abord de rappeler que, même pour les eaux marines proprement dites, la loi de Dittmar sur la constance des proportions ioniques n'est qu'une loi approchée. Rien ne le montre plus éloquemment qu'un tableau donné par ROUCH (1946), où il présente les proportions des principaux ions pour cinq mers ou océans (d'après les analyses de JOHNSTONE). Si l'on calcule les rapports 1 000 Ca/Cl correspondant aux données de ce tableau on constate que ceux-ci vont de 16 (Mer Rouge) à 30,3 (Baltique) ; on observe donc une amplitude de variations supérieure à celle qui existe dans l'étang de Salses-Leucate. De plus, il convient de remarquer que le tableau de ROUCH est présenté pour démontrer justement la constance des proportions des différents ions dans les divers océans. C'est qu'en effet, étant donné la faiblesse en valeur absolue des quantités de calcium par rap-

port à celles du chlore, des variations dans les rapports entre les deux ions, telles que celles qui viennent d'être mentionnées, correspondent en réalité à des différences très faibles entre les teneurs en calcium, différences qui ne jouent que de façon infime sur la teneur totale des sels.

On peut donc admettre que pour des lagunes un rapport du calcium au chlore qui se maintient approximativement entre 20 et 30 constitue un solide indice de la qualité marine de ses eaux. On ne pourrait en dire autant certes si l'on observait des variations allant de 36 à 100 comme dans certains étangs étudiés par NISBET et SCHACHTER (1961).

Rapports Mg/Cl (1 000 Mg/Cl). La moyenne du rapport pour les 25 journées d'observations s'établit à 69,3 ; les valeurs de Mg oscillent entre 68 et 73 (23 données sur 25 se tiennent approximativement entre 68 et 70). La dispersion des valeurs est encore moins élevée que pour le Ca, mais ceci est d'observation constante précisément dans les eaux à caractères marins. À titre de comparaison, pour les cinq mers ou océans cités par ROUCH les rapports oscillent entre 64 (Baltique) et 70,4 (Atlantique).

Ainsi, pour le magnésium, on retrouve donc également dans l'étang de Salses-Leucate des rapports du même ordre de grandeur que dans les eaux marines proprement dites. Là encore il convient de remarquer qu'on ne pourrait en dire autant de tous les étangs salés ; dans celui de Citis les rapports Mg/Cl sont de 79 à 118 et se tiennent généralement au voisinage de 115 à 118 (d'après les données de NISBET et SCHACHTER, 1961).

En conclusion, ces données sur les rapports Ca/Cl et Mg/Cl permettent de dire que les salinités, déduites des teneurs en Cl à l'aide des tables de Knudsen, expriment de façon très approchée la quantité réelle des sels en solution. Quelques observations de GOT (1965) ne font que corroborer cette conclusion ; elles seront rapportées dans le chapitre suivant, dans les pages qui seront consacrées à l'évaluation plus précise de la marge d'imprécision qui affecte les salinités.

D'ores et déjà ce qui vient d'être exposé suffit à justifier le fait que la salinité ait été retenue comme principal paramètre pour refléter les variations chimiques observées dans l'étang.

B. - Caractéristiques des variations de la salinité.

Dans ce chapitre descriptif, aussi fréquemment qu'il sera possible, des comparaisons seront établies entre les observations faites au cours des années qui font essentiellement l'objet de ce travail (1955-1956 et 1960 à 1965) et celles qui ont eu lieu après le percement du nouveau grau (1966 et 1967) ; en effet, contrairement à ce qui a été signalé pour les températures, cette nouvelle ouverture sur la mer a provoqué des changements sensibles dans les salinités de l'étang.

1°) Cycle annuel moyen.

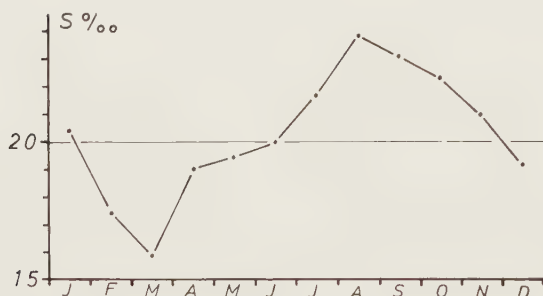


FIG. 21. — Cycle annuel des salinités de l'étang de Salses-Leucate, établi sur les moyennes mensuelles (1955-1956 et 1960 à 1965).

Pour donner une première vue synthétique de la valeur et des variations des salinités observées en 1955 et 1956 et de 1960 à 1965, des moyennes mensuelles ont été calculées. La figure 21 présente la courbe que donnent ces moyennes mensuelles.

Certes, comme pour celui des températures, on doit faire observer qu'un tel cycle, où dans le meilleur des cas la moyenne a été établie sur huit observations journalières, ne prétend pas représenter le cycle réel de façon absolue ; de plus, le nombre de données n'est pas le même pour tous les mois et ce fait peut peser sur la position relative des valeurs de deux mois consécutifs. Tel quel, cependant, le graphique apporte des indications intéressantes et solides sur le cycle réel, indications qui appellent quelques commentaires.

D'abord la variation des salinités apparaît comme composée de deux phases, l'une ascendante et l'autre descendante.

La phase de croissance, telle qu'elle apparaît sur la figure 21, va de mars à août. On doit faire remarquer précisément que cette position du maximum en août est contestable ; c'est un cas certain où les aléas qui ont commandé l'échéance des journées de prélèvements ont contribué à majorer la moyenne. Tout indique qu'en réalité le maximum se situe plus fréquemment en septembre et que parfois on peut l'observer en octobre.

Quant à la phase de décroissance, sur la figure 21, elle présente son minimum en mars ; sur ce point toutes nos observations indiquent que c'est bien le mois où dans la majorité des cas se situent les salinités les plus faibles ; naturellement il s'agit cependant là d'une donnée moyenne et il n'est pas exclu qu'une année ou l'autre on puisse observer le minimum en février ou en avril.

Le cycle des salinités fait encore ressortir que l'amplitude moyenne des variations annuelles est approximativement de 8 ‰, les teneurs oscillant entre 16 et 24 ‰.

2° Cycles des salinités moyennes des différentes années.

a) Description des cycles annuels. Le seul examen du cycle moyen tel qu'il a été établi précédemment ne peut donner qu'une connaissance approchée de la physionomie haline de l'étang. Elle doit être complétée par l'examen des cycles que donnent les moyennes journalières observées pendant les différentes années d'étude ; on peut le faire en se reportant à la figure 22.

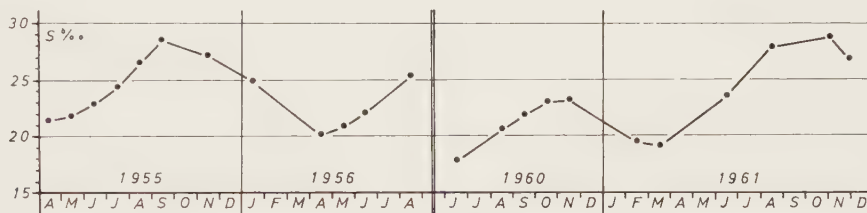


FIG. 22 a. — Moyennes journalières des salinités (1955, 1956, 1960 et 1961).

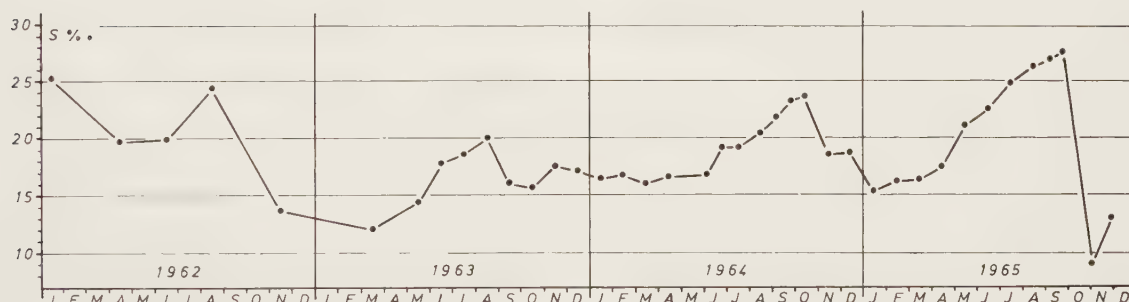


FIG. 22 b. — Moyennes journalières des salinités (1962, 1963, 1964 et 1965).

Ces graphiques des salinités journalières moyennes apportent des précisions fort importantes ; l'attention doit être attirée particulièrement sur certains aspects.

D'abord on peut vérifier que l'allure sinusoïdale des variations, donnée par le cycle moyen, se retrouve chaque année ; on observe seulement des translations horizontales plus ou moins accentuées de la phase ascendante ou de la phase descendante, par rapport au cycle moyen ; ces décalages ont déjà été signalés précédemment.

On notera également que l'amplitude des variations annuelles est le plus souvent de l'ordre de 8 à 10 ‰, mais peut atteindre plus rarement des valeurs supérieures ; c'est ce qui est arrivé par exemple en 1965, où l'écart maximum atteint 18 ‰.

Si on retrouve une certaine constante, à la fois dans l'allure annuelle des variations et dans leur importance en valeur absolue, on doit souligner par contre à quel point les différentes années

peuvent différer par la valeur moyenne de leurs salinités. On observe plusieurs années où toutes les teneurs en sels se situent approximativement entre 20 et 30 ‰ (1955, 1961 et probablement 1956), tandis qu'en 1963 elles se sont maintenues entre 10 et 20 ‰ ; les autres années sont intermédiaires et leurs salinités oscillent de 15 à 25 ‰ (1960, 1962, 1964). L'année 1965 serait à peu près rentrée dans cette catégorie intermédiaire, n'eût été la descente spectaculaire enregistrée en novembre ; de ce fait on obtient une année hors série dont les salinités ont varié de 9 à 27 ‰.

b) Comparaison avec les années 1966-1967. Avant de revenir sur les commentaires qu'appelle la variabilité des salinités pendant les principales années étudiées, il est intéressant de comparer les courbes de salinités qui viennent d'être examinées, avec celles qui furent observées après le creusement du grau St-Angé. Celles-ci sont présentées par la figure 23.

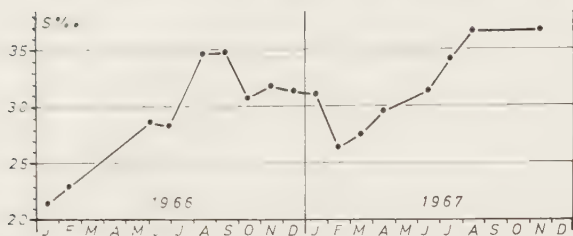


FIG. 23. — Moyennes journalières des salinités (1966 et 1967).

On remarque immédiatement que les salinités ont atteint pendant les années 1966 et 1967 des valeurs jamais observées antérieurement. La rapide remontée au début de 1966, après la chute spectaculaire de novembre 1965, est particulièrement remarquable.

c) La variabilité de l'étang ; classification de ses eaux. Pour prendre une vue claire de l'importance de la variabilité présentée par la lagune, pendant les années 1955 à 1965, il suffit de rapprocher par exemple le cycle de 1961 ou de 1955 de celui de 1963. On se rend compte que des observations même fréquentes, mais ne portant que sur une année, auraient donné une vue tout à fait incomplète et faussée des salinités.

Les différences entre les années sont telles que les systématiciens des lagunes ne pourraient les classer toutes sous une seule même étiquette.

A ce propos, il convient d'aborder cette question de la classification des eaux saumâtres et lagunaires. Il ne s'agit pas d'en refaire l'historique, ni même de décrire les nombreux systèmes proposés depuis quelques décennies ; cela demanderait de longs développements, lesquels ne seraient qu'une répétition de ce qui a été maintes fois déjà exposé par de nombreux auteurs (PETIT, 1953 ; AGUESSE, 1957 ; MARS, 1961 ; ZENKEVITCH, 1963, etc.).

Il apparaît que le plus souvent, parmi ces systèmes de classification, quand la terminologie est relativement simple et que le nombre de catégories demeure restreint (le système de BRUNELLI (1953, par exemple), les renseignements fournis sont très incomplets et imprécis. Si on s'adresse au système qui nous semble le plus intéressant parce qu'il fournit le plus d'informations, celui d'AGUESSE (1957), la terminologie devient lourde et compliquée, sans cependant encore rendre compte, autant qu'on le voudrait, de tous les caractères essentiels. On peut vérifier cette assertion en essayant de classer l'étang de Salses-Leucate selon ce système. La figure 24 donne les principaux qualificatifs qui définissent les caractères observés.

Les termes « polysaumâtre » et « saumâtre » indiquent que la moyenne des salinités se situe soit entre 16 et 40 g/l, soit entre 5 et 16 g/l. Quant aux préfixes oligo- et méso- adjoints au terme poikilohalin, ils définissent l'amplitude des variations ; des eaux oligopoikilohalines ont des salinités qui se situent toutes dans la même catégorie ; des eaux mésopoikilohalines ont des salinités qui se répartissent sur deux catégories ; dans ce dernier cas l'adjonction du qualificatif négatif signifie que c'est le minimum des salinités qui sort de la catégorie où se situe la moyenne.

Cette figure 24, où les données de chaque cycle annuel se trouvent réduites à la moyenne et à l'amplitude maximale des variations, illustre concrètement, en ce qui touche l'étang de Salses-Leucate, l'importance et les limites des informations fournies par le système d'AGUESSE.

Si l'on considère l'ensemble des données ainsi représentées, l'étang sera défini comme *polysaumâtre - mésopoikilohalin - négatif*, puisque les moyennes se situent toujours dans la catégorie allant de 16 à 40 g/l, mais que le minimum descend parfois au-dessous de 16.

Certes cette désignation qui fait connaître à la fois le caractère dominant de l'unité (polysaumâtre) et le maximum des variations qu'il subit (mésopoikilohalin), fournit effectivement des informa-

tions très importantes du point de vue faunistique et écologique ; néanmoins elle ne fait pas savoir que des années entières ne répondent pas à cette classification et rentrent dans la catégorie *poly-saumâtre - oligohaline*, information qui peut avoir son intérêt. Bien que ce ne soit pas le cas ici, théoriquement, il pourrait arriver par exemple qu'une unité devrait être qualifiée de *mésopoïkilohaline* parce qu'une année sur dix donne des salinités exceptionnellement basses.

Même à l'échelle de l'année, le portrait des salinités peut se trouver déformé si l'on se contente de le tracer uniquement à l'aide de ces qualificatifs ; ainsi l'examen des cycles annuels des années 1963, 1964 et 1965 (fig. 22), montre qu'en réalité les deux premières sont plus ressemblantes entre elles qu'elles ne le sont avec l'année 1965 ; cependant cette année 1965, à cause de la chute des salinités des deux derniers mois de l'année, doit être classée dans le même groupe que l'année 1963 (fig. 24).

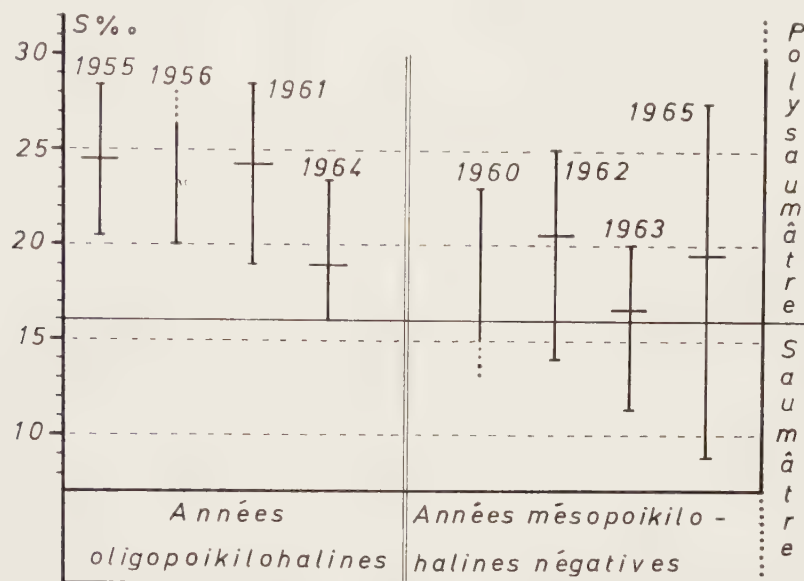


FIG. 24. — Classification de l'étang par année, selon le système d'AGUESSE (1957). Les traits gras verticaux indiquent l'amplitude des variations annuelles ; ils sont coupés par un trait horizontal qui représente la moyenne annuelle.

C'est dire que l'adoption d'une terminologie, même aussi étudiée que celle-ci, ne peut dispenser d'apporter de nombreux compléments et maintes précisions ; de ce fait, on est facilement conduit à partager l'opinion de MARS (1961) quand il écrit : « on peut se demander si tous les systèmes de classification auxquels on a abouti pour classer les eaux de milieux instables comme celles des étangs littoraux n'entraîne pas des complications bien inutiles, puisque de toute manière il faudra, dans tout travail faunistique ou écologique utile, préciser non seulement les salinités moyennes, mais aussi les écarts, habituels ou exceptionnels ».

La présentation, qui vient d'être faite, des cycles des différentes années permet de dégager une leçon d'un grand intérêt théorique et pratique. Elle souligne à quel point on doit se méfier des généralisations trop hâtives quand il s'agit de définir les caractères halins d'une lagune, même si l'unité considérée est relativement importante, comme celle qui nous occupe. La prudence qu'on y doit apporter ne saurait être exagérée, en particulier si l'étude du milieu est faite en vue de connaître des possibilités d'applications ayant des incidences économiques, comme c'était le cas de ce travail. Un exemple concret peut être apporté à l'appui de cette remarque ; au vu des salinités observées en 1955 et 1956, on aurait pu conclure que l'étang convenait très bien à la culture des huîtres ; en fait une étude plus prolongée prouva que la descente des salinités pouvait parfois être telle que la rentabilité de cet élevage ne pouvait être assurée (LE DANTEC et RAIMBAULT, 1965 ; RAIMBAULT 1964 et 1966 b).



FIG. 25. — Cartes donnant les moyennes saisonnières des salinités aux diverses stations. a : hiver (décembre, janvier et février) ; b : printemps (mars, avril et mai) ; c : été (juin, juillet et août) ; d : automne (septembre, octobre et novembre).

3° Variations locales des salinités.

Dans ce qui précède, la salinité de l'étang était représentée pour chaque donnée par une valeur unique qui était la moyenne des teneurs observées le même jour en de nombreux points de l'étang (19 points dans la majorité des cas) ; autrement dit, pour dégager les caractéristiques essentielles des variations au cours du temps, la lagune était considérée tacitement comme un milieu homogène, alors qu'en réalité elle ne l'est pas.

Pour avoir une connaissance plus approfondie des salinités de cette lagune il reste donc à examiner comment se présente l'hétérogénéité des salinités dans les divers secteurs de l'étang, c'est-à-dire la variabilité que font ressortir les observations faites le même jour aux différentes saisons.

a) Hétérogénéité en fonction des saisons. (Tableau moyen établi sur l'ensemble des années.)

Comme précédemment pour les températures, afin de dégager les traits dominants qui caractérisent la répartition des salinités aux divers points de prélèvements, les données ont été condensées en quatre cartes saisonnières (fig. 25, a, b, c et d).

Les valeurs portées sur les cartes correspondent à la moyenne des salinités observées à chaque station pendant les trois mois de la saison considérée, au cours des années 1955-1956 et 1960 à 1965.

Hiver (décembre, janvier, février, fig. 25a). La moyenne pour les 19 stations est de 19 ‰, avec une amplitude de variation de 5,1 ‰. La salinité maximum s'observe à la station 6 (21,7 ‰), au nord du bassin de Leucate ; le minimum se situe à la station 18 (16,6 ‰), au débouché du ruisseau de Font Dame.

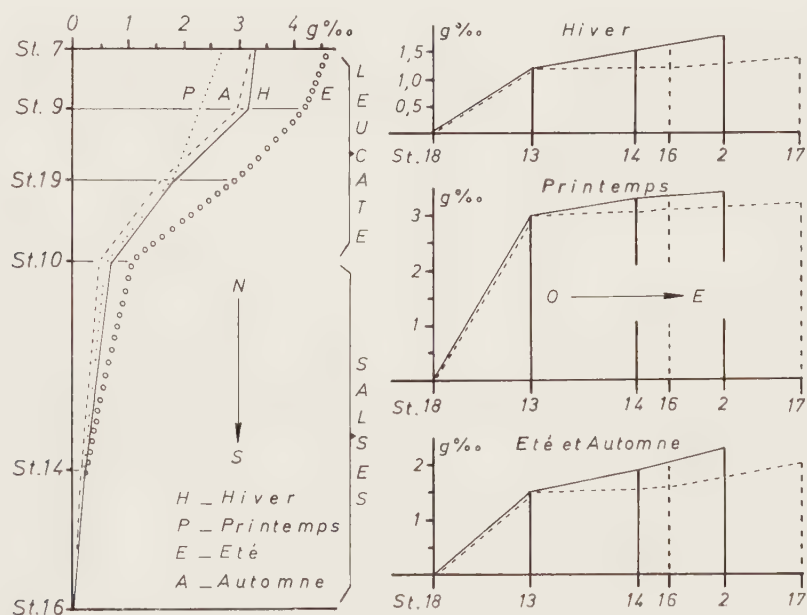


FIG. 26. — Variations locales des salinités en fonction des saisons (1955 et 1956 ; 1960 à 1965). A gauche, du nord au sud ; à droite, d'ouest en est et d'ouest en sud-est (dans le bassin de Salses).

Une décroissance des salinités s'observe du nord vers le sud ; cette variation est absolument sans discontinuité, mais le gradient de décroissance est loin d'être constant. Si l'on prend la station 10, située entre les deux bassins, comme point de charnière, on constate que la chute maximum des salinités du nord au sud du bassin de Leucate est de 2,6 ‰, alors que pour le bassin de Salses, entre la station 10 et la station 16, la chute n'est que de 0,7 ‰.

La figure 26 (à gauche) met précisément en évidence ces variations saisonnières des salinités entre diverses stations situées approximativement selon un axe nord-sud. On voit qu'en hiver la chute des salinités se situe avant tout, du centre du bassin de Leucate (st. 9), jusqu'à la station 10.

A ce gradient de décroissance orienté nord-sud s'en superpose un autre dans le bassin de Salses ; sa direction est plus ou moins perpendiculaire au premier et, contrairement à celui-ci, il s'agit d'un gradient de croissance selon une direction ouest-est (de la st. 18 à la st. 2) ; si, partant toujours de la station 18, on se dirige vers le sud-est cette croissance des salinités est toujours moins accentuée que la précédente.

La figure 26 (à droite, « hiver ») montre que cette variation croissante d'ouest en est est beaucoup moins importante que la décroissance nord-sud ; on y voit aussi que la remontée des salinités est surtout importante sur les 1 500 m environ qui séparent l'embouchure du ruisseau de Font Dame de la station 13 ; entre ces deux stations l'augmentation de salinité est de 1,2 ‰, alors qu'au-delà, jusqu'à la station 2, elle croît de 0,6 ‰ seulement ; plus au sud l'accroissement n'est plus que de 0,2 ‰.

Printemps (mars, avril, mai ; fig. 25 b). La moyenne des salinités est plus faible qu'à la saison précédente, avec 16,9 ‰, c'est toujours la station 6, au nord de Leucate, qui présente le maximum 19,34 ‰ et la station 18 qui fournit le minimum (13,15 ‰). L'amplitude des variations atteint 6,19 ‰.

Les variations se retrouvent exactement selon les mêmes directions et avec le même sens de croissance ou de décroissance qu'à la saison précédente, mais l'importance de ces variations est sensiblement différente.

Suivant l'axe nord-sud, la diminution des salinités, dans le bassin de Leucate, est moins forte qu'en hiver en valeur absolue (2,1 ‰), elle est aussi plus graduelle, bien que présentant une pente plus accentuée (1,2 ‰) entre les stations 19 et 10 (fig. 26).

Dans le bassin de Salses la décroissance nord-sud est du même ordre de grandeur qu'en hiver. Au contraire, dans le sens ouest-est, la dénivellation de salinité entre l'embouchure du ruisseau de Font Dame et la station 13 est beaucoup plus importante qu'en hiver (elle atteint 3 ‰), mais, au-delà de la station 13, vers l'est ou le sud-est la croissance est minime (fig. 26, « printemps »).

Été (juin, juillet, août ; fig. 25 c). Cette saison se caractérise par une remontée sensible de la moyenne des salinités ; de 16,9, elle grimpe à 20,65 ‰ ; l'écart maximum entre les stations est également plus important, avec les 7 ‰ qui séparent les deux stations extrêmes (lesquelles sont toujours les mêmes, st. 6 et 18).

Quant aux gradients de variations, on les observe toujours, aussi bien du nord au sud que de l'ouest à l'est. C'est en été que la différence est la plus importante entre les stations 7 au nord et 16 à l'extrême sud, avec 4,6 ‰ (fig. 26). Là encore c'est dans le bassin de Leucate qu'on assiste à la plus forte chute des salinités (3 ‰ de la st. 7 à la 10) ; mais de la station 10 au centre du bassin de Salses la décroissance est également plus importante qu'aux autres saisons.

Dans le sens ouest-est (fig. 26, « été »), la remontée des salinités a la même allure qu'en hiver ; la principale différence porte sur un relèvement plus net dans la partie sud-est du bassin (entre les st. 16 et 17).

Automne (septembre, octobre, novembre, fig. 25 d). La moyenne des salinités est pratiquement identique à celle de l'été (20,57 ‰), mais l'hétérogénéité est moins grande ; l'écart maximum de 5,15 ‰ est égal à celui qu'on observe en hiver et ce sont toujours les deux mêmes stations qui fournissent les salinités extrêmes.

En ce qui touche la décroissance des salinités du nord au sud (fig. 26), le gradient d'automne est également parallèle et toujours très voisin de celui de l'hiver. Quant à la croissance des salinités d'ouest en est dans le bassin de Salses (fig. 26, « été et automne »), son gradient est tellement proche de celui de l'été que le même schéma est valable pour les deux saisons.

Avant de clore ce paragraphe il est bon de faire une récapitulation des principaux traits qui se dégagent des données saisonnières ; ceux-ci peuvent se résumer en trois points :

1) le bassin de Leucate, au nord, apparaît comme toujours plus salé, plus marin que le bassin de Salses ;

2) du fait de la chute relativement brutale, qui s'opère entre le centre du bassin de Leucate et les hauts-fonds qui le séparent du bassin de Salses, l'hétérogénéité des salinités apparaît comme plus forte dans le premier que dans le second (fig. 26, à gauche) ;

3) la relative homogénéité du bassin de Salses proprement dit est confirmée par l'image des variations d'ouest en est qu'illustre la partie droite de la figure 26 ; si l'on fait abstraction de la forte dénivellation créée par les stations 12 et 18, on constate qu'à partir des points relativement excentriques où se situent les stations 11 et 13 les différences de salinités sont faibles, puisqu'elles n'atteignent pas 1 ‰ en quelque saison que ce soit.

Comparaison entre années à salinités élevées et à salinités faibles. Les caractères saisonniers exposés précédemment et que concrétisent les figures 25 et 26 sont établis sur les moyennes de toutes les années d'observations antérieures à 1965 ; elles donnent donc l'allure moyenne des hétérogénéités. Un bref examen des données se rapportant à des années à salinités élevées (1955-1961) et à des années à salinités faibles (1963-1964) montre que certains caractères dégagés précédemment ne sont pas absolument constants.

La figure 27 présente l'essentiel des données pour les deux catégories d'années en ce qui touche les hétérogénéités selon les axes nord-sud et ouest-est.

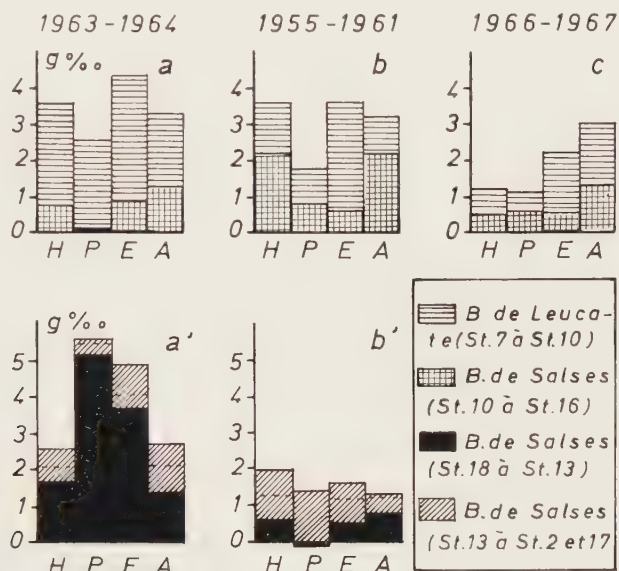


FIG. 27. — Variations comparées des salinités pendant les années à salinités faibles (a et a'), pendant les années à salinités élevées (b et b') et après l'ouverture du grau St Ange (c). a, b et c : écarts dans le sens nord-sud ; a' et b' : écarts d'ouest en est dans le bassin de Salses.

Les graphiques a, b et c, qui occupent la partie supérieure de la figure, donnent les écarts de salinités de la station 7 à la station 10 (bassin de Leucate) d'une part et de la station 10 à la station 16 (bassin de Salses) d'autre part (le graphique 27 c permet une comparaison avec les années 1966 et 1967 dont il sera reparlé dans le paragraphe suivant).

On constate que si l'hétérogénéité du bassin de Leucate, selon cet axe nord-sud, est toujours supérieure à celle du bassin de Salses au cours des années à faibles salinités (1963-1964), il n'en est pas toujours de même pendant les années à salinités élevées ; pendant l'automne et l'hiver des années 1955 et 1961 les écarts de salinités observés entre les stations 7 et 10 sont plus faibles qu'entre les stations 10 et 16. Cette plus faible hétérogénéité du bassin de Leucate n'empêche pas que les salinités de ce dernier demeurent toujours plus élevées que celles de Salses comme en témoigne la figure 28.

Les graphiques a' et b' de la figure 27 se rapportent aux hétérogénéités du bassin de Salses dans le sens ouest-est. Ils soulignent essentiellement à quel point l'hétérogénéité entre la sortie des eaux de résurgences (st. 18) et la station la plus proche de cette sortie (st. 13) diffère entre les deux catégories d'années. En revanche on constate que dans le reste du bassin cette hétérogénéité n'est pas sensiblement différente.

En définitive, la comparaison des hétérogénéités observées pendant des années contrastées par leurs salinités moyennes ne fait que confirmer les caractères généraux dégagés à la fin du paragraphe précédent ; cet examen conduit à faire une seule retouche au tableau en montrant que la supériorité d'hétérogénéité du bassin de Leucate sur celui de Salses peut connaître des exceptions.

Pour compléter la description des variations locales, quelques données concernant les observations journalières doivent encore être rapportées ; avant d'y arriver, il convient d'examiner les modifications apportées aux hétérogénéités locales par le nouveau grau St-Angé.

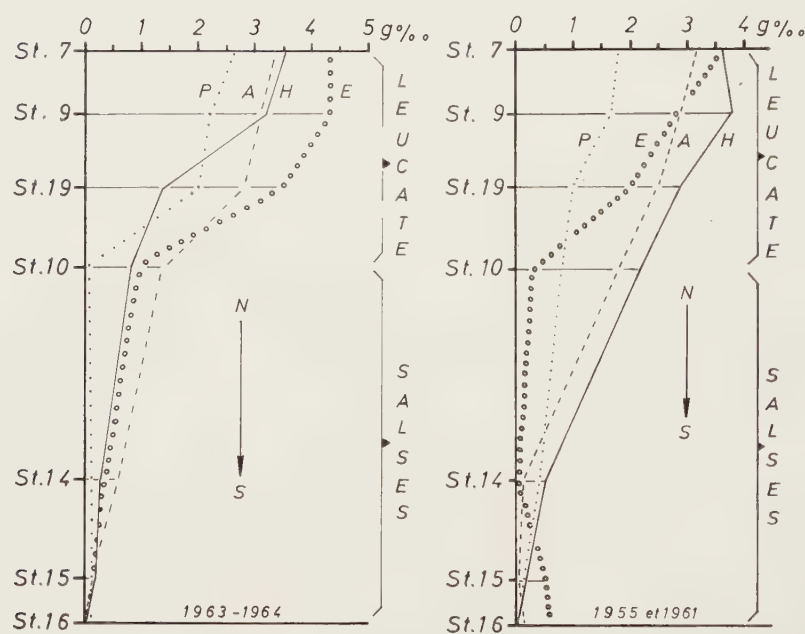


FIG. 28. — Variations des salinités entre les diverses stations situées sur un axe nord-sud, au cours d'années à salinités faibles (1963-1964) et à salinités élevées (1955 et 1961). H : hiver ; P : printemps ; E : été ; A : automne.

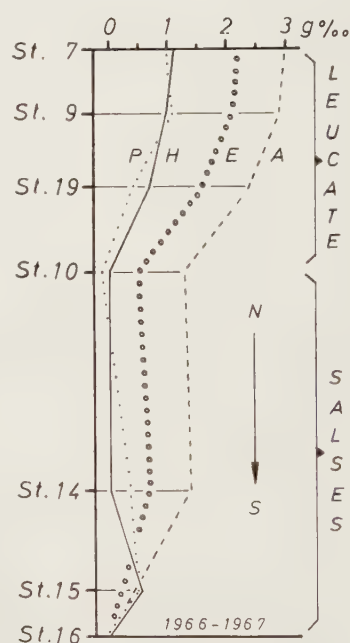


FIG. 29. — Variations des salinités entre les diverses stations situées sur un axe nord-sud après l'ouverture du grau St Ange (1966 et 1967).

Comparaison avec les années 1966-1967. Bien que les données soient beaucoup moins abondantes que pour les années antérieures, il est intéressant d'examiner les modifications apportées aux caractéristiques saisonnières de l'hétérogénéité par l'ouverture du grau St-Angé à la fin de l'année 1965.

On a vu précédemment à quel point cette condition nouvelle avait contribué à élever la salinité moyenne de l'étang. En ce qui touche l'hétérogénéité des salinités aux diverses stations, l'influence du nouveau grau s'est révélée non moins importante.

D'abord cette hétérogénéité apparaît nettement atténuée par rapport aux années antérieures ; on peut en juger en comparant les courbes des variations saisonnières selon un axe nord-sud pour ces deux années, présentées par la figure 29, avec celles des figures 26 et 28. L'examen de ce graphique met en évidence que les écarts de salinités sont moins importants en valeur absolue ; de plus, et surtout, il montre que les gradients de décroissance n'ont plus la même allure ; les différences entre le bassin de Leucate et celui de Salses sont beaucoup moins accentuées. En outre dans le bassin de Salses, la décroissance ne présente plus le caractère de continuité qu'elle avait pendant les

années précédentes ; de la station 10, jusqu'au centre du bassin, et parfois même plus loin vers le sud (st. 15), on observe une légère remontée ; celle-ci est suivie par contre d'une chute relativement importante.

Au total, les données de 1966 et 1967 indiquent que l'ouverture du nouveau grau a contribué à homogénéiser sensiblement les salinités dans l'ensemble de l'étang.

b) Hétérogénéité à l'échelle des données journalières.

Ce dernier paragraphe sera consacré à compléter et à préciser certains caractères de l'hétérogénéité locale des salinités en s'appuyant non plus sur des moyennes mais sur les observations journalières.

Amplitudes des variations journalières. Mieux que par de longs commentaires, les deux figures 30 et 31 feront connaître les données recueillies sur les écarts de salinité observées au cours de 29 journées de prélèvements effectués pendant les années allant de 1960 à 1964.

En premier lieu, la figure 30 donne quatre séries d'écarts de salinité correspondant chacune à

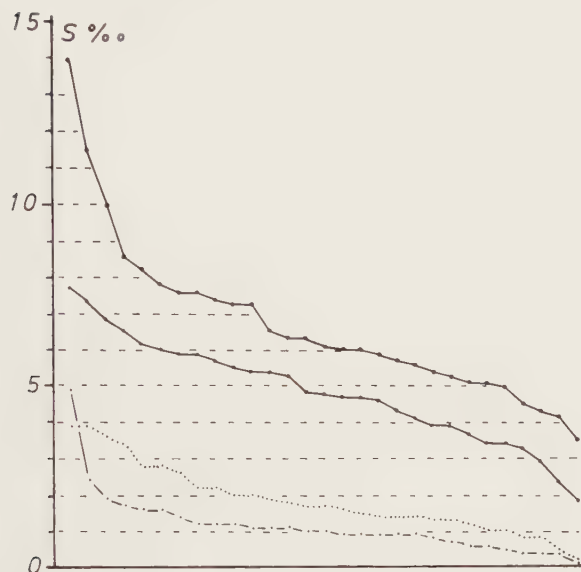


FIG. 30. — Divers écarts de salinités observés au cours de 29 journées (1960 à 1964) et classés en ordre décroissant. Ligne supérieure : écarts maximum en tenant compte de toutes les stations ; 2^e ligne : en faisant abstraction des st. 12 et 18 ; 3^e ligne (en pointillé) : entre les 7 stations du bassin de Leucate ; ligne inférieure : entre les stations du bassin de Salses proprement dit (st. 12, 18, 10 et 3 exclues).

une extension géographique différente de façon à permettre des comparaisons entre les divers secteurs. Sur cette figure, les écarts pour chacune des séries ont été classés en ordre décroissant, sans tenir compte de la correspondance de date pour les divers écarts figurant sur la même verticale. Cette présentation, qui n'a donc qu'une valeur statistique, a l'avantage de faire ressortir avec netteté les différences d'hétérogénéité dans les divers secteurs envisagés.

La ligne supérieure indique que l'amplitude totale des variations, en tenant compte de toutes les stations, a oscillé de 14 à 3,5 ‰ ; néanmoins il convient de noter que pour 20 jours sur 29 elle s'est maintenue entre 5 et 8 ‰.

La deuxième ligne montre que, si l'on ne tient pas compte des données des stations 12 et 18, l'hétérogénéité se trouve réduite généralement de 1 à 2 ‰ ; les écarts vont de 8 à 2 ‰.

Les deux lignes inférieures permettent de comparer l'hétérogénéité dans les deux bassins qui composent l'étang ; il s'agit des deux bassins proprement dits, les stations intermédiaires (10 et 3) ou marginales et particulières (12 et 18), n'étant pas comprises dans l'écart. La plus grande hétérogénéité du bassin de Leucate (ligne en pointillé) par rapport au bassin de Salses se trouve nettement mise en évidence. Néanmoins il a déjà été signalé antérieurement que si le total des hétérogénéités

de la cuvette septentrionale était plus élevé que celui de la cuvette méridionale, ce fait n'excluait pas que parfois l'hétérogénéité de cette dernière l'emporte sur celle de la première.

Ce dernier fait est confirmé et précisé par la figure 31 qui présente les écarts des mêmes 29 jours, non plus classés en ordre décroissant, mais tels qu'ils furent observés à chacune des journées de prélèvements. On retrouve donc toutes les mêmes valeurs absolues que dans la figure précédente, mais on constate que les écarts dans les divers secteurs envisagés ne varient pas nécessairement le même jour dans les mêmes proportions.

L'espace qui sépare les deux lignes supérieures correspond à l'écart de salinité qui sépare la station 18 (ou plus rarement la 12) de la plus faible salinité observée ailleurs (généralement la st. 13) ; autrement dit cet espace traduit l'influence des eaux des résurgences dans le secteur voisin de leur débouché dans l'étang. On observe que ces hétérogénéités de la zone ouest de l'étang, aux voi-

sinages des résurgences, sont extrêmement inconstantes ; les gros écarts sont relativement fugaces et ne persistent jamais deux mois de suite.

Sur cette figure on peut également apprécier l'importance de la chute des salinités entre le bassin de Leucate et celui de Salses ; elle est figurée par l'espace hachuré qui relie la deuxième ligne à celle qui représente les écarts du bassin de Salses ; cette partie hachurée correspond à l'écart existant entre le maximum des salinités dans le bassin de Leucate et le maximum dans le bassin de Salses.

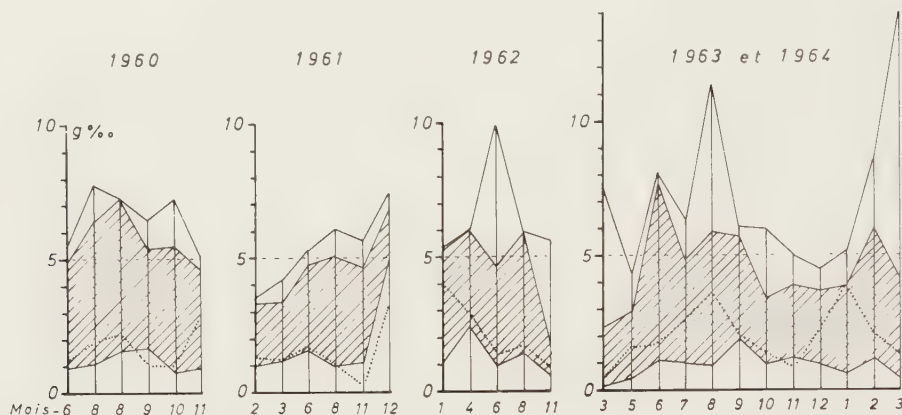


FIG. 31. — Ecart de salinités observés le même jour dans divers secteurs de l'étang. Les quatre lignes correspondent aux divisions de l'étang retenues pour la figure 30. La partie hachurée représente l'écart entre le maximum de Leucate et le maximum de Salses.

Enfin les deux lignes inférieures confirment que l'hétérogénéité des salinités dans le bassin de Leucate (pointillé) est généralement plus élevée que dans le bassin de Salses proprement dit ; mais on peut vérifier que ce n'est pas une règle absolue et que de temps à autre l'inverse peut s'observer.

Résumé.

Les principaux traits qui se dégagent des observations exposées dans ce chapitre sont les suivants.

1) Un cycle annuel, élaboré à partir de l'ensemble des dosages effectués, eux-mêmes condensés en moyennes mensuelles, se présente sous forme d'une ligne sinusoïdale, dont le sommet se situe en août et le minimum en mars ; les teneurs en sels varient de 16 à 24 ‰. Au vu de ce seul cycle moyen, l'étang se classerait dans le système d'AGUESSE (1957) comme *polysaumâtre oligopoïkilohalin*.

2) Un examen plus détaillé, portant sur le cycle de chacune des années, indique que la forme sinusoïdale des variations est un caractère constant ; mais le maximum annuel peut se situer en septembre ou parfois même en octobre et le minimum peut s'observer en février ou en avril.

Quant aux salinités, les valeurs extrêmes observées sont de 9 et de 29 ‰ ; on peut donc avoir des salinités de la catégorie *saumâtres* d'AGUESSE. En fait certaines années ont toutes leurs salinités comprises entre 20 et 30 ‰ et d'autres entre 10 et 20 ‰. Cependant même pour ces années à faibles salinités la moyenne reste supérieure à 16 ‰ ; le caractère dominant de l'étang est donc incontestablement *polysaumâtre* (moyenne entre 16 et 40 g), mais *polysaumâtre-inférieur* pourrait-on dire.

3) D'après les données recueillies en 1966 et 1967, on constate que l'ouverture du nouveau grau St-Ange a été suivie d'une hausse sensible des salinités, celles-ci passant dans la catégorie que l'on pourrait appeler « *polysaumâtre-supérieur* » ; en 1966, les valeurs extrêmes observées furent de 24 et 34 ‰, en 1967 elles furent de 26 et 36 ‰.

4) L'examen des salinités aux diverses stations de prélèvements a permis de dégager l'importance des hétérogénéités locales et de leurs variations.

Sur ce point, les données d'abord regroupées par saison et en envisageant différents groupes d'années, puis ensuite examinées à l'échelle des résultats journaliers, on fait ressortir les points suivants :

le bassin de Leucate a toujours des salinités plus élevées que celui de Salses, quels que soient les années et les mois,

ce même bassin de Leucate présente généralement une hétérogénéité de salinités plus élevée que le bassin de Salses et cela, que l'on considère l'hétérogénéité propre à chaque bassin isolément ou que l'on envisage l'hétérogénéité totale du nord au sud de l'étang, en prenant la station 10 comme charnière entre les deux cuvettes ; néanmoins cette supériorité habituelle d'hétérogénéité présente des exceptions,

en général, selon cet axe nord-sud, à une forte hétérogénéité du bassin de Leucate, correspond une faible hétérogénéité de Salses et vice-versa,

dans le sens ouest-est l'hétérogénéité du bassin de Salses n'est forte que dans une zone relativement restreinte, au voisinage du débouché des résurgences, et cette hétérogénéité marginale est extrêmement inconstante et variable,

enfin au cours des années 1966 et 1967, après l'ouverture du nouveau grau, la supériorité des salinités du bassin de Leucate persiste, mais les différences entre le nord et le sud sont à la fois moins élevées et plus constantes ; au total l'hétérogénéité de l'ensemble de l'étang est sensiblement accrue par rapport aux années antérieures.

CHAPITRE V

LES SALINITÉS ET LEURS VARIATIONS

LES DONNÉES FONDAMENTALES DE L'INTERPRETATION

Le chapitre précédent fait connaître les principaux traits concernant les salinités de l'étang et leurs variations dans l'espace et le temps. Les faits rapportés posent des problèmes que l'on doit s'efforcer de résoudre ; ils décrivent des enchaînements de phénomènes qui demandent à être expliqués.

Avant d'aborder la recherche des causes qui peuvent aider à comprendre les variations de salinités, il convient dans un premier chapitre de s'arrêter sur quelques considérations fondamentales, bases de toute l'interprétation des variations.

En premier lieu, doit être mis en relief le fait que les eaux de l'étang sont le résultat du mélange de deux catégories d'eau et que toutes les variations de la salinité observées dans le mélange ne sont que le reflet de fluctuations qui affectent les proportions respectives de chacune des deux eaux-mères.

En second lieu, il convient de préciser dans quelle mesure la teneur des divers ions analysés peut nous renseigner sur la proportion de chacune des deux eaux-mères dans le mélange lagunaire ; les divers paramètres étudiés seront soumis à un examen critique pour essayer de définir et de comparer la valeur informative de chacun d'eux sur ce plan.

A. - L'étang : résultante du mélange de deux eaux.

Schématiquement, pour comprendre les phénomènes observés dans cette lagune, il faut prendre conscience que tout se joue entre trois entités : la mer, les eaux continentales et l'étang lui-même.

La mer et l'eau continentale, prises en elles-mêmes, se présentent comme deux catégories d'eaux ayant chacune des caractères chimiques relativement bien définis et très contrastés l'une par rapport à l'autre.

L'étang, lui, se trouve en position de trait d'union entre ces deux éléments et son eau n'est que la résultante de ce que l'on peut appeler la lutte d'influence que se livrent, sur son terrain, l'eau continentale et l'eau marine ; du fait de cette situation, l'étang contraste par ses fluctuations chimiques avec la relative constance des deux sortes d'eaux dont il est tributaire ; ses propres eaux,

résultant du mélange de deux constituants, ont des caractères intermédiaires qui oscillent pour se rapprocher tantôt de l'un, tantôt de l'autre, en fonction des fluctuations qui affectent leurs apports respectifs.

Quelques données chiffrées, telles que celles présentées par la figure 32, suffisent à justifier ces considérations tout en les précisant. Cette figure comprend trois graphiques correspondant à trois des principaux paramètres étudiés, à la fois en mer (quadrilatères noirs), aux sources d'eaux continentales (quadrilatères blancs) et dans l'étang (quadrilatères ponctués). Chaque quadrilatère permet d'apprécier et la moyenne des teneurs observées et la dispersion des données autour de cette moyenne.

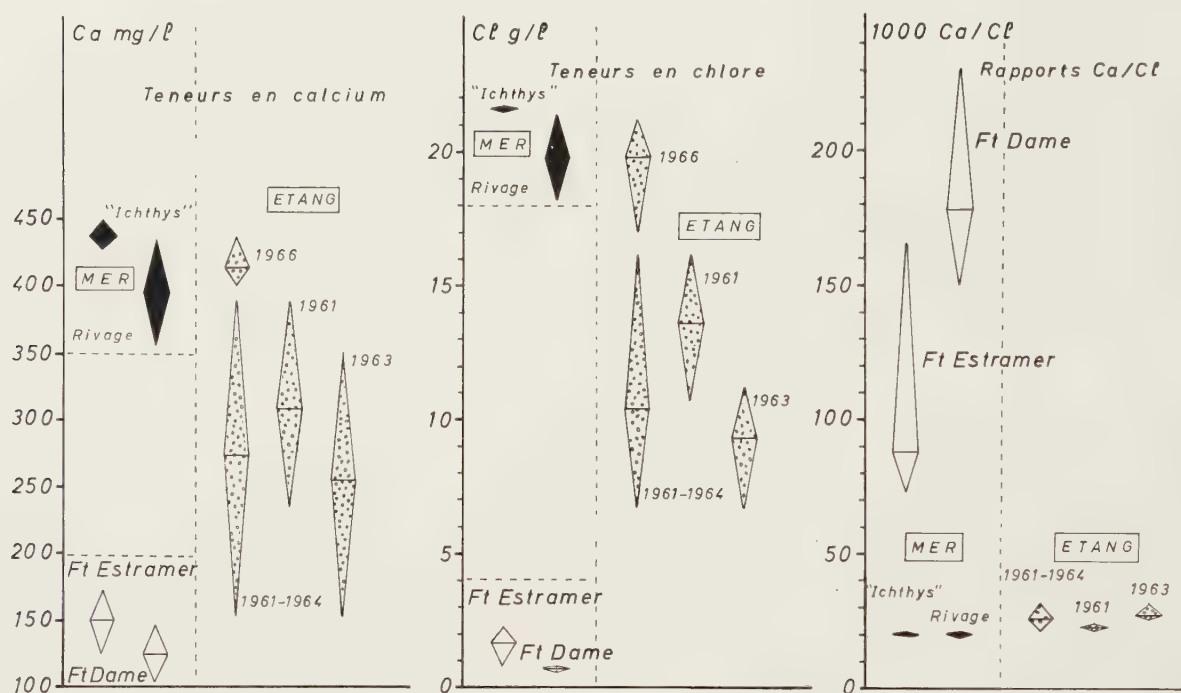


FIG. 32. — Données montrant que l'étang est un mélange d'eaux marines et d'eaux continentales. Teneurs en Ca, en Cl et rapports Ca/Cl, observés en mer, aux résurgences et dans l'étang.

Avant de commenter cette figure, il est utile de donner quelques précisions sur la nature et l'abondance des prélèvements effectués et analysés en ce qui touche la mer et les eaux continentales.

Pour la mer proche de l'étang, les valeurs figurées résultent de deux séries d'analyses ; la première fut effectuée sur 15 prélèvements opérés par l'« Ichthys » (navire de recherches du laboratoire de Sète) dans une zone allant de quelques centaines de mètres du cordon littoral jusqu'à plusieurs milles au large ; la seconde série est constituée de 12 prélèvements effectués au cours des années 1961 à 1964, directement de terre, sur la plage du Barcarès.

Pour les eaux continentales, les données correspondent à des prélèvements effectués aux résurgences, au cours des années 1955, 1956 et 1960 à 1966.

A Font Estramer les échantillons étaient pris dans un des ruisseaux d'écoulement, immédiatement en aval de la vasque où l'eau vient au jour. Pour 39 analyses, les teneurs en chlore donnent une moyenne de 1,65 g/l (les valeurs oscillent entre 0,59 et 2,39 g/l) ; la moyenne des teneurs en calcium s'établit à 150 mg/l et les valeurs varient entre 124 et 172 mg/l.

Il s'agit là d'une eau relativement riche en sels, particulièrement en Cl ; elle sort des normes de potabilité des hygiénistes (RODIER, 1966), mais, du point de vue qui nous occupe, sa minéralisation demeure cependant infime par rapport à celle des eaux marines et son influence sur l'étang ne peut être que fortement adoucissante.

En ce qui touche les eaux qui forment le ruisseau de Font Dame, les prélèvements étaient effectués près de la route nationale, à environ 2 km au nord de Salses, près d'un vieux moulin en ruine. Dans cette zone couverte de roseaux, l'eau sort des calcaires par de nombreuses petites résurgences et forme des ruisseaux (fig. 4).

On notera que les teneurs en chlore de cette eau sont sensiblement plus faibles et beaucoup plus constantes qu'à Font Estramer. Pour 34 dosages effectués de 1961 à 1966, on obtient une moyenne de 0,63 g/l ; les valeurs observées vont de 0,56 à 0,79 g/l.

Comme notre point de prélèvement habituel se situe presque à l'émergence des eaux souterraines, nous avons voulu vérifier si, beaucoup plus en aval, les eaux du ruisseau de Font Dame proprement dit différaient sensiblement par leur teneur en chlore. En mai 1965, quatre prélèvements furent effectués dans le ruisseau même, en des points de plus en plus proches de l'étang ; le dernier se situait à environ 150 m de la lagune. Les quatre dosages ont donné une teneur en chlore identique (0,64 g/l), valeur très peu différente de celle observée, ce jour-là, à notre point de prélèvement habituel (0,59 g/l). Un contrôle du même genre effectué par GOT (1965) en 1963, aboutit aux mêmes conclusions ; ses résultats semblent indiquer une grande constance dans la teneur en chlore des eaux du ruisseau ; en trois points, il obtient des valeurs pratiquement égales aux nôtres, 0,66, 0,66 et 0,64).

Pour ce qui est des teneurs en calcium, les valeurs sont également plus faibles qu'à Font Estramer, mais elles sont aussi dispersées ; elles se tiennent entre 104 et 146 mg/l, avec une moyenne de 125 mg/l.

Ainsi, tout comme les eaux de la Rigole, et même de façon un peu plus accentuée, les eaux de Font Dame font figure d'eaux douces relativement aux eaux marines et, en débouchant dans l'étang, elles aussi ne peuvent que contribuer à provoquer un fort abaissement des salinités.

Les données sur l'étang, que présente la figure 32, comprennent la moyenne du total des analyses, et aussi les moyennes de trois années particulièrement contrastées : 1961 (année à salinités élevées) ; 1963 (année à salinités faibles) et 1966, année qui a suivi l'ouverture du nouveau grau (pour cette dernière il convient de préciser que les valeurs figurées correspondent aux prélèvements d'une seule journée du mois de septembre et n'ont donc pas une signification de même portée que les autres).

Ces indications sur l'origine des données qui ont servi à établir la figure 32 étant précisées, il convient d'en venir à l'examen même de cette figure.

Il n'est pas nécessaire de s'arrêter longuement sur les deux graphiques concernant les teneurs en calcium et en chlore pour voir, d'une part le contraste que présentent entre elles les eaux marines et les eaux continentales, et d'autre part le caractère intermédiaire, le caractère de mélange qu'offrent les eaux de l'étang. Sur ce dernier point, en comparant la position des quadrilatères de 1961 et de 1963, il apparaît clairement que la plus ou moins grande abondance en calcium ou en chlore correspond à des proportions plus ou moins fortes de l'une ou de l'autre des deux catégories d'eaux-mères dans le mélange. Ce fait est confirmé par la situation des quadrilatères afférents aux prélèvements de septembre 1966 ; en cette période, où les apports continentaux sont relativement faibles et où l'ouverture du grau St-Ange a favorisé les apports marins, les teneurs en Ca et en Cl rejoignent complètement les valeurs caractéristiques de la mer.

L'examen des rapports Ca/Cl fournit un enseignement d'un autre ordre mais non moins intéressant. On constate que la mer se distingue sur ce point par sa constance et que les eaux continentales diffèrent des eaux marines, à la fois par leurs valeurs absolues et par la variabilité des données. Quant aux rapports fournis par les eaux de l'étang, s'ils gardent encore des caractères intermédiaires, néanmoins ils sont toujours incomparablement plus proches des rapports marins que des rapports continentaux aussi bien par leurs valeurs absolues que par leur faible variance ; ce n'est là qu'une nouvelle mise en évidence de ce qui a été exposé précédemment sur le caractère submarin des eaux de l'étang ; le paragraphe suivant permettra de mieux comprendre ce caractère et de préciser les limites de l'analogie entre les eaux de la lagune et celles de la mer. Toutefois il apparaît déjà sur la figure 32 que, à l'intérieur de leur faible marge de variabilité, les rapports Ca/Cl des années 1961 et 1963 reflètent de façon très claire les variations de l'influence relative des eaux continentales et des eaux marines.

En définitive, les données globales que présente la figure 32 démontrent avec évidence le caractère de mélange des eaux de l'étang. Elles laissent déjà entrevoir que les divers paramètres étudiés peuvent renseigner avec plus ou moins de précision sur la proportion en chacune des deux eaux-mères que renferme la lagune à un moment donné.

Le paragraphe suivant va être consacré à cet aspect particulier du problème.

B. - Valeur des divers paramètres étudiés pour l'étude du mélange.

L'étude de l'étang repose en définitive sur les teneurs en calcium, en magnésium et en chlore, telles qu'elles résultent des analyses faites sur les eaux marines, les eaux continentales et l'étang. Ces données peuvent être utilisées, soit directement avec les valeurs absolues, soit conjuguées deux à deux par l'expression de leur rapport. Il convient de faire un examen critique de ces divers paramètres pour dégager ce que chacun d'entre eux peut apporter comme information sur la composition du mélange en eaux marines et en eaux continentales.

Dans l'idéal, quand un mélange résulte de la réunion de deux solutions d'origines différentes, sous certaines conditions, il est possible de savoir exactement quel est le pourcentage de chaque constituant dans le mélange à un moment donné.

Si par exemple l'une des deux solutions mères était seule à renfermer un ion et cela à une concentration constante, dans ce cas il suffirait de connaître la concentration de cet ion dans le mélange pour évaluer avec précision quelle est la proportion de la solution mère qu'il renferme à ce moment-là. La présence exclusive d'un ion dans l'une des solutions composantes représente le cas théorique le plus simple, mais le problème peut encore être résolu avec la présence simultanée du même ion dans les deux solutions mères à condition que les concentrations dans l'une et l'autre soient constantes et différentes.

En fait, ces conditions idéales ne s'observent pas dans la situation concrète qui nous occupe ; les trois ions dosés : Cl, Ca et Mg, existent dans chacune des deux solutions mères et, de plus, la concentration de ces ions, aussi bien dans les eaux marines du rivage que dans les eaux de résurgences, n'est pas absolument constante. Cela apparaît clairement sur la figure 32 pour le calcium et le chlore. Pour ce qui est du magnésium, les données ne seraient pas différentes ; la moyenne, sur le rivage de la mer, s'établit à 1 340 mg/l, mais les teneurs oscillent entre 1 207 et 1 510 mg/l ; aux résurgences, les valeurs moyennes observées sont, pour Font Estramer, 130 mg/l (59 à 180) et pour Font Dame, 65 mg/l (40 à 79).

L'existence de ces variations suffit pour que soit exclue la possibilité d'évaluer, avec la rigueur et la précision du laboratoire, le pourcentage respectif de chacune des eaux dans l'étang à un moment donné. Toutefois, à défaut d'une telle précision, on doit essayer de définir jusqu'à quel point les données concernant ces ions sont susceptibles de nous éclairer sur la composition centésimale du mélange.

1°) Les teneurs en chlore

Les teneurs en chlore, comme les autres, ne remplissent pas les conditions idéales qui viennent d'être énoncées ; cependant on doit remarquer que ce sont elles qui s'en éloignent le moins ; Certes cet ion se retrouve, à la fois, dans les eaux marines et dans les eaux continentales et, dans les deux milieux, avec des concentrations qui varient ; néanmoins les teneurs propres à chacune des eaux sont extrêmement contrastées entre elles et de plus leurs variations restent relativement faibles.

On peut vérifier sur la figure 32 que les eaux marines du rivage se maintiennent presque toujours à la concentration de $20 \text{ g/l} \pm 1$, alors que pour les eaux continentales la moyenne des deux résurgences est constamment voisine de 1 g/l.

Les concentrations du chlore dans chacun des deux milieux étant donc dans le rapport de 1 à 20, on peut se demander si, pour la connaissance de la composition du mélange, la quantité de chlore apportée par les résurgences peut être considérée comme négligeable ; dans l'affirmative nous serions ramené au cas hypothétique le plus simple envisagé ci-dessus.

Pour en juger, prenons les valeurs extrêmes de Cl observées dans l'étang : 7 et 17 g/l.

Si l'on admet qu'une concentration de 20 g/l de Cl correspond à 100 % d'eaux marines, on démontre qu'un mélange qui contient 17 g/l renferme, soit 84,25 %, soit 85 % d'eaux marines, selon

que la présence de 1 g/l des eaux continentales est prise en considération ou non. La différence est absolument négligeable à l'échelle du problème étudié.

Si le mélange contient 7 g/l, l'erreur sur le pourcentage des proportions des deux constituants devient un peu plus forte, mais elle reste encore sans grande importance relativement à ce que nous voulons connaître. Dans ce cas, les eaux marines forment réellement 32 % du mélange au lieu des 35 % que l'on calcule en faisant abstraction du chlore des eaux continentales.

On constate donc que, même en négligeant le chlore des résurgences, on obtient une approximation tout à fait satisfaisante sur la composition des eaux de l'étang à partir des teneurs en chlore.

Le diagramme que présente la figure 33 permet de lire ces pourcentages, soit en négligeant le chlore apporté par les résurgences (diagonale en trait plein), soit au contraire en en tenant compte (diagonale en pointillé).

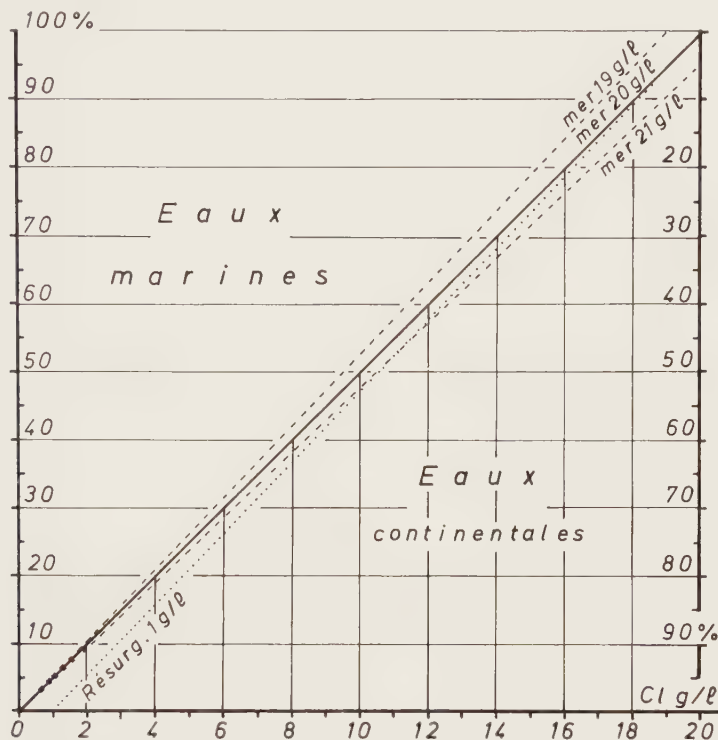


FIG. 33. — Relations entre les teneurs en Cl (en abscisses) et les pourcentages des deux catégories d'eaux (en ordonnées) qui forment le mélange lagunaire.

Dans ce qui vient d'être établi, il a été admis que la concentration du Cl de la mer était absolument constante et égale à 20 g/l; en fait, les analyses des eaux du rivage montrent que si les teneurs sont toujours proches de cette valeur, elles varient légèrement cependant; on peut considérer que sauf de rares exceptions elles se tiennent entre 19 et 21 g/l (fig. 32).

Sur la figure 33, les deux lignes obliques en tirets, qui encadrent la diagonale en trait plein, permettent d'apprécier l'erreur qui peut être commise du fait des légères variations dans les teneurs en chlore des eaux de la mer. Cette erreur qui est de l'ordre de 4 % pour 17 g/l de chlore observé dans l'étang, tombe à 1,5 % pour 7 g/l.

On notera que l'erreur, due aux fluctuations du chlore de l'eau de mer, varie en sens inverse de l'erreur due à la négligence du chlore des résurgences.

En définitive une conclusion pratique très importante se dégage de ces considérations: à partir des teneurs en chlore (ou à partir des salinités qui en sont déduites) il est possible de connaître la proportion des deux eaux composant le mélange avec une marge d'erreur qui est toujours inférieure à 5 %.

Ainsi les concentrations du chlore se révèlent être un indicateur relativement précis de la composition du mélange lagunaire.

Avant d'examiner les autres paramètres, une application directe de la conclusion qui vient d'être tirée peut être faite ; la figure 34 présente les fluctuations des deux composants du mélange, établies sur la base des teneurs moyennes en Cl observées pendant plusieurs années. Les parties en noir figurent l'eau marine, les parties en blanc, l'eau continentale.

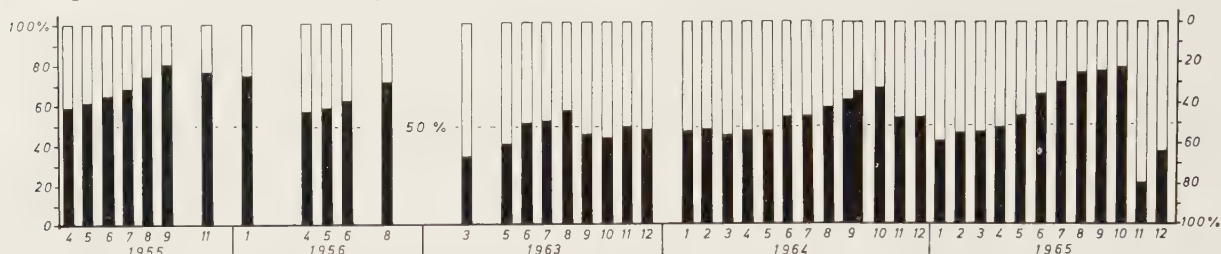


FIG. 34. — Pourcentages approximatifs des deux catégories d'eaux mères formant le mélange lagunaire et leurs variations. En noir : eau marine ; en blanc : eaux continentales.

Une telle présentation est beaucoup plus suggestive qu'une simple courbe des variations du chlore ou de la salinité. En fait, elle constitue déjà une interprétation, en termes de mélange, des caractères généraux de la hydrologie de la lagune.

On remarquera, entre autres traits, que sous cette forme les cycles de variations annuelles paraissent plus atténués. On constate que, sauf de rares exceptions, les eaux marines forment presque toujours entre 40 et 75 % du mélange.

Il apparaît que des années à salinités relativement élevées, comme 1955-1956, sont des années où l'eau de mer a toujours été prédominante, ne descendant jamais au-dessous de 50 % ; au contraire pendant l'année où les salinités furent les plus faibles, en 1963, le pourcentage d'eau marine n'a que rarement dépassé la proportion de 50 %.

Parmi d'autres détails remarquables, on notera aussi les variations brusques qui affectent le mélange particulièrement pendant la mauvaise saison ; cette variation est particulièrement spectaculaire entre octobre et novembre 1965, mais on la retrouve, bien que moins accentuée, entre août et septembre 1963, octobre et novembre 1964, décembre 1964 et janvier 1965. En contraste avec ces rapides envahissements d'eaux continentales, les accroissements d'eaux marines apparaissent généralement comme beaucoup plus lents et plus réguliers.

2°) Les teneurs en Ca et Mg.

Les données brutes sur les teneurs en calcium et en magnésium sont plus éloignées des conditions théoriques idéales que ne le sont celles du chlore ; leur intérêt pour préciser la composition du mélange lagunaire présentera donc moins d'intérêt.

Deux circonstances concourent à rendre moins précis les renseignements que pourraient fournir ces deux ions.

En premier lieu, bien que les teneurs en Ca et Mg dans les eaux continentales soient toujours très inférieures à celles des eaux marines, la différence est cependant moins accentuée qu'elle ne l'était pour le chlore ; les teneurs moyennes pour le magnésium dans chacun des deux milieux sont dans le rapport de 1 à 13 et pour le calcium de 1 à 3, alors qu'elles étaient dans le rapport de 1 à 20 pour le chlore.

En second lieu et surtout, les concentrations dans les deux eaux-mères présentent pour ces deux ions une marge de variation beaucoup plus importante que celle observée pour le chlore ; pour le calcium on peut vérifier ce fait sur les données présentées par la figure 32 ; pour le magnésium, les variations contrôlées dans les eaux marines du rivage sont telles que les concentrations peuvent être de 10 à 30 fois supérieures à celles des eaux continentales.

Sans plus insister, on peut donc conclure qu'une évaluation du pourcentage des deux constituants de l'étang, fondée sur les teneurs en Ca et Mg, présenterait une marge d'incertitude sensiblement plus élevée que celle qui s'appuie sur les teneurs en Cl ; sur ce point les données directes des concentrations en calcium et en magnésium n'offrent donc aucun intérêt.

3° Les rapports Ca/Cl et Mg/Cl.

Il n'est pas sans intérêt de s'arrêter quelque peu pour faire l'examen critique de la valeur informative des rapports ioniques et particulièrement du rapport Ca/Cl.

Etudié comme précédemment pour dégager ce qu'il peut nous apprendre sur la composition centésimale du mélange lagunaire, cet examen donnera en même temps l'occasion de revenir sur le problème de la légitimité d'évaluer les salinités de cet étang à partir des teneurs en chlore ; d'une part, il permettra d'exposer plus clairement en quels termes se pose ce problème et d'autre part il permettra aussi d'apporter plus de précision sur la marge d'erreur que comporte cette évaluation des salinités par les tables de KNUDSEN.

a) Rapports ioniques et composition du mélange.

Rapports Ca/Cl (1 000 Ca/Cl). Les données globales fournies par la figure 32 (particulièrement les trois quadrilatères de l'étang) indiquent déjà qu'il existe une certaine relation entre les variations des rapports Ca/Cl et l'abondance relative de chacune des deux catégories d'eau qui constituent le mélange. Toutefois il apparaît, et il a déjà été souligné, que l'échelle des variations des rapports ioniques est de faible amplitude. C'est dire qu'une information précise sur la composition du mélange, fournie par ces rapports, ne pourra être obtenue que s'il existe une corrélation très étroite entre les deux paramètres.

En fait ce qui va suivre montrera que diverses causes d'incertitude liées aux rapports Ca/Cl font que ces derniers ont moins d'intérêt que les simples données en chlore pour renseigner sur la composition du mélange.

Le graphique que présente la figure 35 doit montrer avec plus de clarté qu'il existe effectivement une corrélation entre les rapports Ca/Cl et les proportions du mélange, mais aussi il doit montrer les sources d'erreur qui peuvent entacher cette corrélation.

La figure présente, en ordonnées, des teneurs de calcium de 0 à 400 mg/l ; en abscisses, des teneurs en chlore de 0 à 20 g/l avec, en regard, la correspondance en pourcentage d'eau marine telle qu'elle a été établie précédemment sur la figure 33. En oblique se trouvent portées différentes valeurs du rapport Ca/Cl.

Dans un premier temps on remarquera que l'oblique en trait plein, celle qui forme la diagonale du graphique, correspond au rapport $1\,000\text{ Ca/Cl} = 20$. C'est le rapport constant que l'on observerait dans la lagune si le mélange lagunaire était constitué d'une eau de mer ayant un rapport Ca/Cl invariable et égal à 20 et d'une eau continentale qui ne contiendrait aucun des ions Ca et Cl ; c'est ce qu'on aurait, par exemple, si une telle eau de mer était diluée dans différentes proportions avec de l'eau distillée. Il est clair que, dans une telle hypothèse, les valeurs du rapport ne seraient d'aucune utilité pour renseigner sur la composition du mélange. En revanche, les variations en valeur absolue de la teneur du calcium permettraient de connaître cette composition.

Quoi qu'il en soit, le cas d'un tel mélange reste purement hypothétique. En effet, si les données du graphique concernant les teneurs en chlore et en calcium de la mer (respectivement 20 g/l et 400 mg/l) sont proches des valeurs moyennes observées sur le rivage il ne faut pas oublier que les eaux des résurgences, contrairement à ce qui a été dit pour le chlore, contiennent du calcium avec des concentrations qui sont loin d'être négligeables par rapport à celles des eaux marines ; rappelons que les teneurs moyennes étant de 400 mg/l pour les eaux marines et de 130 mg/l pour les eaux continentales, il en résulte que les concentrations sont dans le rapport de 1 à 3.

La conséquence de cette relative abondance du calcium apporté par les eaux continentales est précisément que le rapport Ca/Cl est soumis à des variations en fonction des diverses proportions des deux eaux-mères dans l'étang. Sur la figure 35, les lignes en traits discontinus mettent en évidence les modifications apportées à la première hypothèse, du fait de l'apport de calcium par les eaux continentales.

Tel quel, le graphique met en évidence quelques points remarquables.

D'abord il confirme et précise que les apports de calcium par les eaux continentales sont loin d'être négligeables ; il montre aussi que l'influence du calcium d'origine continentale sur le rapport Ca/Cl est d'autant plus grande que les eaux sont plus diluées. On constate en effet que la corrélation entre les pourcentages des eaux en mélange et les rapports Ca/Cl est une corrélation semi-loga-

rithmique ; à une variation arithmétique des pourcentages correspond une variation exponentielle des rapports ioniques. C'est ainsi qu'une diminution de 10 % d'eaux marines entraîne une augmentation du rapport Ca/Cl qui peut aller de 1 à plus de 10, selon que l'eau marine passe de 80 à 70 %, ou qu'elle décroît de 30 à 20 %.

Ce simple fait d'une absence de proportionnalité directe rend donc déjà les rapports ioniques moins pratiques comme indicateur de la nature du mélange que ne l'est la corrélation avec les teneurs en chlore.

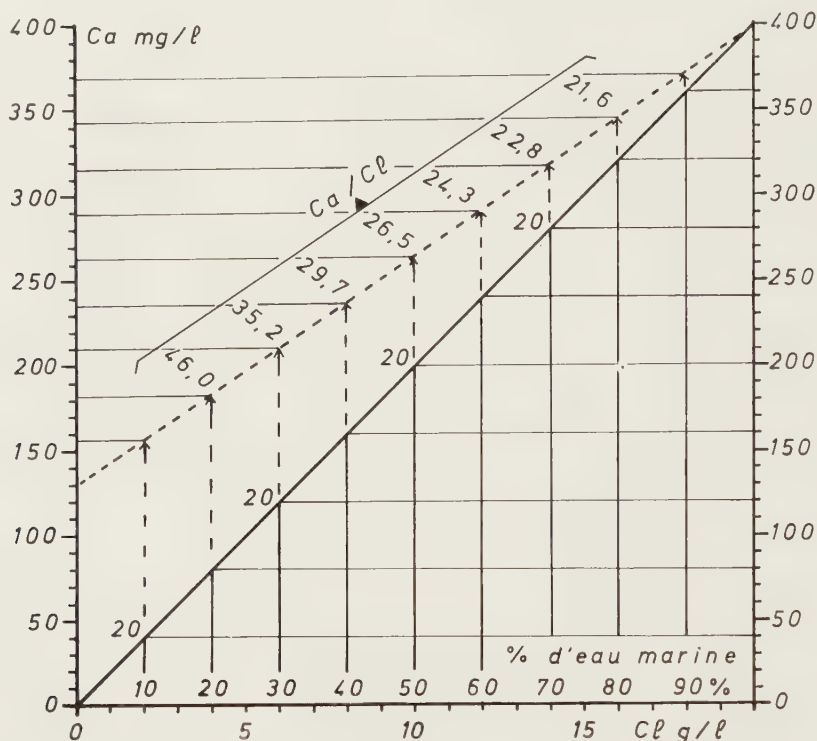


FIG. 35. — Relation entre les rapports Ca/Cl et les pourcentages d'eau marine dans l'étang (relations établies en prenant, pour l'eau marine, une teneur moyenne de 400 mg/l de Ca et de 20 g/l de Cl, pour les eaux continentales, une valeur moyenne de 130 mg/l de Ca). Les traits pleins verticaux correspondent aux quantités de Ca apportées par la mer ; les traits verticaux en tirets, au Ca apporté par les eaux continentales.

A cela vient s'ajouter un élément supplémentaire en défaveur de ce paramètre. Il convient de rappeler que l'oblique en trait discontinu de la figure 35 établit la corrélation pour des teneurs constantes en calcium, de 400 mg/l pour les eaux marines et de 130 mg/l pour les eaux continentales ; or il a été signalé qu'en réalité les concentrations de calcium dans ces eaux ne sont pas constantes. Sans s'arrêter aux valeurs les plus extrêmes et donc rares, on peut retenir que les teneurs sur le rivage de la mer vont de 370 à 420 mg/l et que celles des résurgences se tiennent entre 120 et 155 mg/l. Il est bien évident que le fait de ces variations constitue une source d'imprécision dont il serait difficile, sinon impossible, de déterminer les limites précises. Néanmoins le calcul des rapports Ca/Cl correspondant au couplage des valeurs extrêmes du calcium peut donner l'ordre de grandeur de la marge d'incertitude entraînée par cette variabilité de concentration. Ces opérations montrent que les pourcentages des deux catégories d'eaux, déduits des rapports Ca/Cl, ne peuvent généralement être établis qu'à 10 % près. C'est donc une marge d'erreur supérieure à celle que donne l'évaluation par les teneurs en chlore.

La conséquence de ces diverses considérations est que les rapports Ca/Cl constituent un paramètre à la fois moins maniable et moins précis que les teneurs en chlore (ou les salinités correspondantes) pour connaître la composition du mélange lagunaire.

Ces réserves sur la valeur informative des rapports Ca/Cl étant faites il convient, pour terminer de souligner l'intérêt qui s'attache toutefois à l'établissement de ce paramètre.

D'un côté, il apporte des précisions sur le caractère marin des eaux de la lagune ; cet aspect va être étudié plus en détail dans le paragraphe suivant. D'un autre côté, même si ces rapports ioniques, du fait de la marge d'erreur, ne permettent pas une analyse fine des phénomènes de mélange, il n'en reste pas moins vrai cependant que la corrélation entre leurs variations et la composition du mélange existe et que cette corrélation peut être exploitée à l'échelle des données moyennes ou globales. Sur ce plan, le fait que les rapports varient de façon exponentielle, se prête de façon heureuse à l'établissement d'une corrélation sur fond logarithmique entre les concentrations du chlore et du calcium. Une telle corrélation, présentée sur graphique du type iso-allométrique, fait ressortir d'une manière particulièrement claire certains caractères généraux de l'étang. Dans ces limites, il en sera donc fait usage dans les chapitres qui suivent.

Rapports Mg/Cl (1 000 Mg/Cl). L'utilisation des rapports Mg/Cl pour l'étude du mélange lagunaire sera délaissée pour diverses raisons.

Sans qu'il soit besoin de s'étendre longuement il suffira de souligner d'abord que les variations importantes des concentrations en magnésium font que la précision que fourniraient les rapports Mg/Cl, quand à la composition du mélange lagunaire, serait encore inférieure à celle que donnent les rapports Ca/Cl. De plus, il se trouve que les teneurs en magnésium observées en mer et dans les eaux continentales, sont entre elles dans un tel rapport que, mathématiquement, leurs variations résultant du mélange des eaux se traduisent par des fluctuations du rapport Mg/Cl moins importantes que celles du rapport Ca/Cl. Enfin la présentation des corrélations entre le magnésium et le chlore par graphique iso-allométrique est matériellement moins aisée à réaliser et moins parlante que celle des données concernant le calcium et le chlore.

Tous ces motifs conduisent donc à laisser de côté le paramètre Mg/Cl.

b) Les rapports ioniques et la question de la nature marine du mélange.

Dans le chapitre précédent le fait que les eaux de l'étang de Salses-Leucate peuvent être assimilées à des eaux marines a été admis, avec cette conséquence pratique que leur salinité totale pouvait être évaluée par la méthode des océanographes, c'est-à-dire la méthode de KNUDSEN. Le bien fondé d'une telle position était appuyé sur le seul fait que les rapports ioniques observés demeuraient toujours beaucoup plus voisins des rapports marins que des rapports continentaux. C'est une base d'argumentation solide et valable mais qui demande à être précisée. Les données qui viennent d'être exposées dans les paragraphes précédents devraient justement permettre d'éclaircir cette question en y apportant les compléments et les nuances qui s'imposent.

Une première évidence se dégage des figures 33 et 35, ainsi que des commentaires auxquels elles ont donné lieu : c'est que les eaux de l'étang ne sont pas absolument assimilables aux eaux marines sur le plan des rapports ioniques. A strictement parler, elles ne le seraient que si l'eau continentale qui s'y déverse était une eau chimiquement pure comme une eau distillée, ou encore si la minéralisation de ces eaux était telle que les ions qu'elles contiennent se trouvaient entre eux dans des rapports identiques à ce qu'ils sont dans les eaux de la mer.

En fait, nous avons vu que les eaux des résurgences, bien qu'infinitement moins minéralisées que les eaux marines, sont cependant loin d'être des eaux pures et que leur présence introduit une certaine variation dans les rapports ioniques, particulièrement dans le rapport Ca/Cl.

Il n'est donc pas contestable que, sur le plan purement théorique, l'évaluation des salinités de l'étang par les tables de Knudsen constitue une opération discutable, opération qui ne peut donner, au mieux, qu'une salinité approchée. En fait, rien de plus n'a été soutenu dans cet exposé.

Il reste à préciser dans ce paragraphe quelle est la marge d'approximation qu'entraîne l'évaluation des salinités par les tables de Knudsen. Sur cette base, les arguments qui justifient le fait d'admettre cette erreur systématique seront brièvement repris.

La marge d'erreur due à l'emploi des tables de Knudsen. Le paragraphe précédent consacré aux rapports Ca/Cl montre que plus le pourcentage de l'eau de mer est faible dans l'étang, plus l'erreur due aux apports continentaux est élevée. Il en résulte que pour définir le maximum de l'er-

reur qui peut être commise par l'emploi des tables de Knudsen il convient de chercher à l'établir pour les plus faibles teneurs en chlore observées.

Prenons le cas, par exemple, où l'eau de l'étang est formée, pour les trois quarts, par de l'eau continentale et pour un quart, par des eaux marines.

Sachant que les teneurs extrêmes en chlore pour les eaux de résurgences se tiennent presque toujours entre 0,6 et 0,8 g pour Font Dame et 0,7 et 2,4 g pour Font Estramer, si l'on admet que le volume d'eau continentale pour chacune des deux résurgences est égal, en prenant la moyenne des deux valeurs les plus faibles et des deux valeurs les plus fortes on obtient comme valeurs moyennes extrêmes : 0,65 et 1,6 g de chlore par litre.

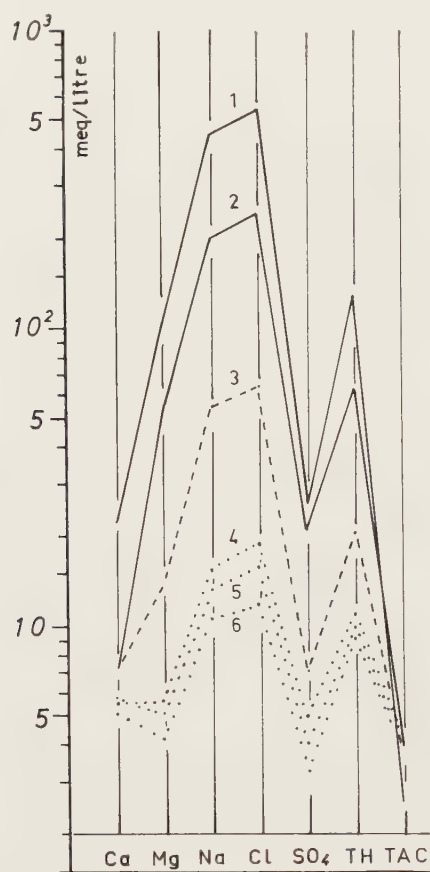


FIG. 36. — Comparaison des eaux de la mer, de l'étang et des principales résurgences. La teneur des ions est exprimée en milliéquivalents. 1 : la mer ; 2 : l'étang ; 3 : Font Estramer ; 4, 5 et 6 : résurgences dont les eaux s'écoulent par le ruisseau de Font Dame (extrait de la planche XXII de GOT, 1965).

données obtenues avec celles de l'étang et de la mer. Nous-mêmes, en mai 1965, avons fait effectuer une analyse des eaux des deux sources par un service spécialisé de Montpellier (Institut BOUSSON-BERTRAND).

Une première indication d'un grand intérêt peut être relevée dans une planche du travail de GOT. La teneur des principaux ions des résurgences, ainsi que celle de l'étang et de la mer, évaluée

Le mélange lagunaire étant supposé contenir 3/4 d'eau continentale, chaque litre contient de 0,5 à 1,2 g de chlore d'origine continentale ($0,75 \times 0,65$ et $0,75 \times 1,6$).

Quant aux eaux de la mer du rivage sachant que leurs teneurs en chlore oscillent entre 18 et 21, un litre du mélange, qui renferme 1/4 de ces eaux de mer, contiendra donc soit 4,5 soit 5,25 g de chlore d'origine marine.

Finalement en admettant, selon la logique et l'observation, que les plus faibles et les plus fortes teneurs en Cl s'observent en même temps dans les eaux continentales et dans les eaux marines, la quantité totale de chlore que contiendra un litre du mélange lagunaire se tiendra entre 5 g ($4,5 + 0,5$) et 6,45 g ($5,25 + 1,2$). (Précisons que, pour ces faibles teneurs, et dans le cadre de ce qui est étudié ici, il est inutile de tenir compte de la différence infime entraînée par l'expression des concentrations soit en g/l, soit en g p. 1 000 ; aussi pour ne pas surcharger la démonstration il en sera fait abstraction.)

Selon les tables de Knudsen, à une teneur de 5 g de Cl ‰ correspond une salinité totale de **9,06** g p. 1 000 et à une chlorinité de 6,45 g p. 1 000 une salinité de **11,67** g p. 1 000. Ces deux valeurs (9,06 et 11,67) constituent donc l'évaluation de la teneur totale des sels qui sera retenue si les tables sont utilisées. Mais en réalité la relation entre le chlore et la salinité n'est vraiment rigoureuse que pour le quart d'eau marine contenu dans le mélange, soit pour 4,5 et 5,25 g de Cl ‰. A ces deux concentrations correspondent respectivement des salinités de 8,15 et 9,51 g p. 1 000.

Toute la question est de savoir si la quantité de sels apportée par les eaux continentales est égale (ou très voisine) à la différence entre le total fourni par les tables de Knudsen (9,06 et 11,67 g) et ces 8,15 et 9,51 g d'origine marine, soit 0,91 et 2,16 g.

Des éléments d'appréciation pour répondre à cette question peuvent être trouvés dans le travail de GOT (1965). Dans le cadre de son étude hydrogéologique de la plaine de la Salanque, ce chercheur a été amené à faire une analyse assez complète des eaux des résurgences et à comparer les

en milliéquivalents, est reportée sur un diagramme vertical logarithmique (méthode de SCHOELLER). Sur un tel diagramme le parallélisme des courbes des différents milieux permet de juger d'un simple coup d'œil si les divers ions contenus s'y trouvent à peu près dans les mêmes proportions (fig. 36).

Or précisément la similitude des tracés, pour la mer, l'étang, les eaux de la Rigole et celles des résurgences de Font Dame, est remarquable. Le seul défaut de parallélisme bien marqué est dû aux teneurs en calcium des résurgences ; ceci rejoint et explique l'observation faite antérieurement à savoir que, parmi les rapports ioniques, c'est le rapport Ca/Cl qui tend le plus à faire apparaître comme différentes les eaux de l'étang et celles de la mer.

En définitive l'ensemble du graphique de GOT montre que les eaux continentales, lagunaires et marines sont des solutions extrêmement ressemblantes, non quant aux valeurs absolues, mais par leur composition centésimale. C'est si vrai que GOT en vient à émettre l'hypothèse que la minéralisation des eaux de Font Estramer et de Font Dame serait due pour l'essentiel à des infiltrations des eaux de l'étang. Quelle que soit la justesse de cette hypothèse, elle souligne la parenté des deux eaux et tend par conséquent à confirmer que l'emploi des tables de Knudsen ne peut entraîner qu'une faible erreur.

On peut essayer de chiffrer l'ordre de grandeur de cette erreur en s'appuyant sur les teneurs des divers ions fournies par GOT et aussi sur celles des analyses faites à Montpellier en mai 1965. Si, à partir de ces données, on calcule par exemple le rapport existant entre la concentration du chlore et la salinité totale on peut obtenir des corrélations simples qui doivent permettre de déterminer à très peu de chose près les salinités réelles dans d'autres cas.

En faisant la moyenne des rapports des deux résurgences, à partir des valeurs fournies par GOT, on obtient, en désignant la salinité par S , la relation suivante : $S = 2 \text{ Cl g/l}$; la même opération effectuée avec les données de mai 1965 donne la formule $S = 1,65 \text{ Cl g/l}$. (La différence existant entre les deux coefficients n'a rien d'étonnant ; il a été signalé que les teneurs en Cl de Font Estramer présentaient une variabilité assez forte).

Revenant à l'exemple qui a été retenu, si l'on applique l'une et l'autre de ces formules aux deux valeurs extrêmes du chlore (0,5 et 1,2 g) correspondant à un mélange constitué de 3/4 d'eau continentale, on peut admettre qu'on obtiendra une évaluation très voisine de la salinité réelle due à ces eaux continentales, salinité qui pourra être comparée aux valeurs fournies par les tables de Knudsen (0,91 et 2,16 g).

D'abord pour les valeurs faibles (0,5 g de Cl) : le rapport GOT donne : $S = 2 \times 0,5 = 1 \text{ g}$, le rapport de mai 1965 donne : $S = 1,65 \times 0,5 = 0,82 \text{ g}$,

soit une différence de $\pm 0,1 \text{ g}$ par rapport à la donnée la plus faible fournie par les tables de Knudsen : 0,91 g.

En second lieu pour les valeurs les plus fortes (1,2 g de Cl) : le rapport de GOT donne : $S = 2 \times 1,2 = 2,4 \text{ g}$, celui de mai 1965 donne : $S = 1,65 \times 1,2 = 1,98 \text{ g}$.

La première salinité est supérieure de 0,24 g au 2,16 g théorique des tables de Knudsen, la deuxième est inférieure de 0,18 g. Soit, dans les deux cas, une approximation de l'ordre de $\pm 0,2 \text{ g}$.

Justification de l'emploi des tables de Knudsen. En définitive, l'erreur maximum sur les salinités entraînée par l'emploi des tables de Knudsen et ce, dans les circonstances d'extrême dilution qui sont les plus favorables à cette erreur, est de l'ordre de 0,2 g de sels par litre.

Des calculs analogues aux précédents, pour un mélange à 50 % des deux catégories d'eaux, font tomber l'erreur maximum à 0,1 g.

Ces précisions sur la marge d'incertitude qui affecte l'évaluation des salinités par les tables de Knudsen permettent d'apprécier à sa juste valeur l'option prise en exprimant les salinités de cette façon.

L'approximation serait sans nul doute considérée comme trop large par des océanographes physiologiques ; au contraire la précision obtenue est plus que suffisante tant pour des études écologiques que pour une étude des caractères généraux de l'hydrologie d'une telle unité lagunaire.

Dans de telles conditions il serait difficile de contester l'intérêt qui s'attache à fournir un paramètre aussi important.

Résumé.

Avant d'aborder l'interprétation elle-même des variations chimiques observées dans l'étang, il a paru nécessaire de faire l'analyse critique des divers paramètres recueillis au cours de cette étude. Il s'agissait de définir avec précision la valeur de chacun de ces paramètres pour l'interprétation des phénomènes réels qui affectent l'étang.

Cela nous a amenés à mettre en relief, dès le départ, un premier fait fondamental sur lequel tout le reste repose : à savoir que les eaux de l'étang ne sont que la résultante de la lutte d'influence que se livrent sur son terrain deux catégories d'eaux très différentes : les eaux d'origine continentale et les eaux d'origine marine.

Les eaux de l'étang ne sont jamais qu'un mélange de ces deux eaux. En définitive, toutes les variations observées ne sont que des modifications dans les pourcentages respectifs des deux eaux.

Il en résulte que parmi les divers ions dosés le plus intéressant c'est celui qui reflète de la façon la plus précise la proportion des deux eaux dans le mélange.

Les teneurs en calcium et en magnésium, en elles-mêmes et dans leurs rapports avec le chlore, donnent une représentation très intéressante du phénomène de mélange, mais une représentation qui n'a pas le même degré de précision que les teneurs en chlore. Les données du calcium et du magnésium se sont surtout révélées très utiles pour établir le caractère submarin des eaux de l'étang, ainsi que le calcul de l'erreur sur les salinités déterminées par la méthode de Knudsen.

En définitive, l'analyse des divers paramètres montre que les teneurs en chlore, et donc les salinités qui en sont déduites directement, sont les indicateurs les plus précis sur la composition et la nature du mélange.

En conséquence, ce sont essentiellement les salinités que nous avons adoptées pour l'interprétation des variations.

CHAPITRE VI

INTERPRETATION DES VARIATIONS DE LA SALINITE MOYENNE

Introduction. L'examen des salinités moyennes de l'étang a fait apparaître deux principaux types de variations.

D'une part le graphique des salinités a une allure sinusoïdale ; il est fait d'une succession continue de phases à salinités croissantes et de phases à salinités décroissantes ; les unes et les autres s'observant, grosso modo, pendant les mêmes saisons chaque année. D'autre part l'ensemble du cycle des différentes années ne se situe pas forcément, en valeur absolue, à la même hauteur dans l'échelle des salinités ; on distingue des années à salinités élevées (polysaumâtres oligohalines) et des années à salinités faibles (polysaumâtres mésohalines) (fig. 22, 23 et 24).

De ces deux types de variations, le premier est fondamental et doit d'abord être étudié en détail ; si l'on peut déceler les causes qui font que les salinités vont toujours en croissant pendant une partie de l'année et en décroissant pendant l'autre, toutes les autres variations s'en trouveront éclairées.

Traduite en termes de mélange, cette succession annuelle d'une phase de croissance et d'une phase de décroissance, s'énoncerait en disant que, pendant la mauvaise saison, le pourcentage des eaux continentales dans l'étang va en augmentant relativement à celui des eaux marines, et qu'à l'inverse pendant la belle saison c'est la proportion des eaux marines qui s'accroît.

Dès maintenant, on doit remarquer cependant qu'un facteur autre que les apports marins peut aussi créer des augmentations de salinité et devra donc être également étudié, c'est l'évaporation. On peut toutefois tenir pour acquis, dès le départ, que l'évaporation à elle seule ne peut expliquer des hausses de salinités telles que celles qui sont observées chaque année ; il est facile de calculer qu'elle ne le ferait qu'au prix d'un tarissement presque complet de la lagune, phénomène qui ne s'observe absolument pas dans la réalité.

C'est donc que les apports marins jouent un rôle actif et important dans l'existence de la phase de croissance annuelle.

Finalement, les facteurs fondamentaux qui sont à l'origine des variations sont donc : d'une part les apports d'eaux continentales, d'autre part les apports d'eaux marines, l'effet de ceux-ci étant éventuellement renforcé par l'évaporation.

Néanmoins, si ces trois facteurs sont à l'origine de toutes les variations observées, il n'en demeure pas moins que les apports de l'une ou de l'autre des deux eaux-mères ne peuvent être conçus comme un phénomène de simple remplacement d'une eau par l'autre ; ils ne peuvent non plus être considérés comme des déversements venant s'accumuler dans un récipient clos ; l'étang est une cuvette ouverte qui est le siège de phénomènes dynamiques complexes. De ce fait, la durée des effets provoqués par les déversements, les modalités selon lesquelles s'exerce leur influence, dépendent en grande partie des facteurs qui commandent, soit la rétention des eaux dans l'étang, soit au contraire les échanges entre celui-ci et la mer.

Le rôle de ces phénomènes, qui constituent ce qu'on peut appeler le dynamisme propre de l'étang, peut difficilement être dissocié de celui des trois facteurs fondamentaux. Aussi, ce rôle sera plus spécialement examiné avec la question des apports d'eaux marines, mais il pourra être évoqué chaque fois que ce sera nécessaire au cours de l'étude des autres facteurs de base : les apports continentaux et l'évaporation.

Les divers facteurs énoncés seront examinés d'abord isolément et une dernière partie sera consacrée à l'interprétation générale des variations en s'efforçant de tenir compte de l'ensemble des observations.

I. - Les salinités et les apports d'eaux continentales.

Sur le plan chimique des apports d'eaux continentales ne peuvent que contribuer à diluer le mélange lagunaire.

Pour ce qui est de l'étang de Salses-Leucate, quand on songe d'une part à la faiblesse relative de ses dimensions et à l'étroitesse de sa communication avec la mer, quand on considère d'autre part que des eaux continentales s'y déversent d'un bout de l'année à l'autre, alors il est aisé de se convaincre que ces apports continentaux jouent nécessairement un rôle capital dans les caractères hydrologiques qui s'y manifestent. Avant tout examen des faits, on serait moins surpris d'apprendre que, dans de telles conditions, la lagune se dessale progressivement et de façon continue, qu'on ne l'est de savoir qu'elle présente une alternance annuelle d'une phase de croissance et d'une phase de décroissance.

En conséquence le problème essentiel à élucider revient à se demander comment il se fait que les déversements d'eaux continentales qui provoquent logiquement un abaissement des salinités en automne et en hiver, cessent de le faire pendant les deux autres saisons.

On peut présumer a priori que ce phénomène est en relation avec une variation des quantités déversées au cours de l'année, variation elle-même liée probablement au régime des précipitations.

Cette partie de l'exposé va donc être consacrée à examiner les divers aspects qui conditionnent les apports d'eau continentale, c'est-à-dire la pluviosité et les apports permanents d'origine souterraine ; les données obtenues seront confrontées avec le cycle des variations de la salinité.

Un premier essai sur cet aspect du problème de l'hydrologie de Salses-Leucate a déjà été présenté antérieurement (ARNAUD, 1967). La documentation qui s'y trouve et les relations établies gardent leur exactitude et leur intérêt pratique, mais l'examen de l'ensemble des problèmes oblige à comprendre différemment le rôle propre joué par les pluies et par les apports souterrains. C'est ce qui apparaîtra dans les paragraphes qui suivent.

1° Le cycle annuel des salinités et les précipitations.

Le problème des relations entre les salinités de l'étang et les précipitations peut être envisagé à diverses échelles.

En partant des données les plus générales, un premier rapprochement peut être fait entre le régime moyen des pluies dans la zone méditerranéenne et le cycle annuel moyen des salinités (fig. 21).

On sait qu'une des principales caractéristiques de la pluviosité méditerranéenne est la sécheresse de la saison estivale au sens large ; la quasi totalité des pluies s'observe en automne et en hiver.

A cette échelle, la liaison est donc frappante entre les deux séries de phénomène ; grosso modo les salinités décroissent pendant les saisons où les pluies sont les plus abondantes et elles croissent pendant les mois les plus secs.

Toutefois il convient d'examiner les choses plus en détail ; pour cela les données de quatre années (1961 à 1964) concernant les deux phénomènes sont présentées sous forme de graphique par la figure 37.

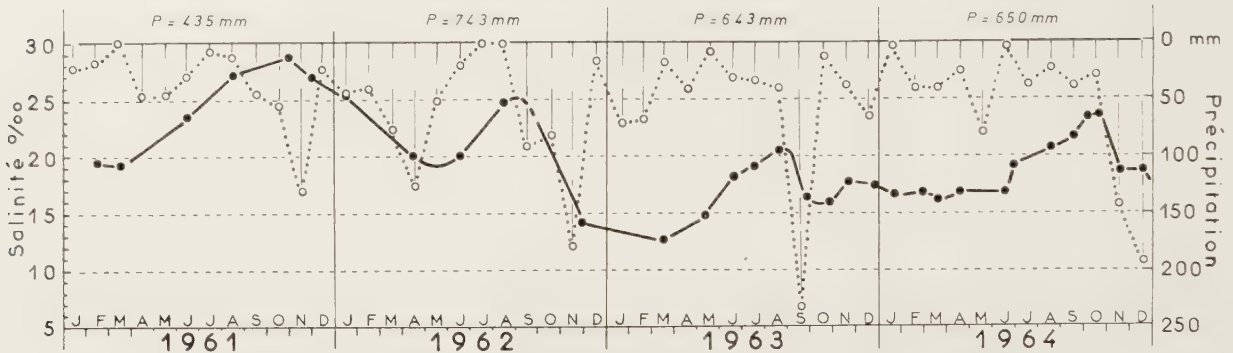


FIG. 37. — Précipitations mensuelles (cercles ouverts et pointillé) et salinités (points noirs et trait continu) de 1961 à 1964. Le total annuel des pluies est porté au-dessus de la ligne supérieure.

Ce qui apparaît immédiatement, en examinant même sommairement les deux courbes, c'est qu'au moins certaines chutes marquantes des salinités coïncident avec de fortes pluies.

La corrélation est nette lors des précipitations extrêmement fortes d'automne ou d'hiver, par exemple en novembre 1962, septembre 1963, novembre 1964 ; ajoutons que c'est encore en 1965 que le cas de correspondance le plus spectaculaire entre pluies et chute des salinités a été observée ; on peut vérifier sur la figure 22b que, entre la fin de septembre et la fin d'octobre, les salinités sont passées de 27,4 à 8,8 ‰ (soit une différence de 18,5 ‰), c'est-à-dire que la quantité d'eau continentale dans l'étang est passée de 25 à 80 % en un mois (fig. 34) ; cette variation considérable correspond à des pluies d'octobre qui ont atteint pour ce seul mois la hauteur extraordinaire de 748 mm.

Il est donc indéniable qu'aux fortes pluies correspondent des chutes sensibles de salinités. A cette constatation se limite ce qui peut être affirmé sur les relations entre pluviosité et salinités. Entre les autres précipitations et les variations de la salinité rien de très clair ne se dégage ; si l'on met en regard la valeur absolue des pluviosités mensuelles et celle des salinités, les exemples de non correspondance ne sont pas rares. Par exemple, en 1961, les salinités les plus faibles ont été atteintes en février-mars alors que pour ces mois les précipitations furent presque nulles ; en revanche les pluies d'avril, mai et juin de la même année n'ont pas empêché les salinités de croître ; en 1963, le maximum des salinités n'a pas correspondu au minimum des pluies, etc.

Les deux enseignements les plus remarquables qui ressortent de ce premier examen sont donc les suivants. D'abord, et c'est une observation capitale, il existe une relation indéniable entre les précipitations de la mauvaise saison et les chutes de salinité ; toutefois, même pendant ces mois d'automne et d'hiver, seules les très fortes et brusques pluies, si caractéristiques du régime méditerranéen (chutes d'au moins 100 mm et s'effectuant en quelques jours) provoquent des abaissments sensibles des salinités. En second lieu les autres précipitations, celles qui sont faibles ou discontinues, ne semblent pas avoir d'influence directe sur les salinités.

La première de ces remarques, concernant la relation entre les fortes pluies d'automne et d'hiver et la décroissance des salinités, mérite de retenir plus longtemps l'attention. En réalité quand on examine en détail les données des précipitations et celles des salinités, on aboutit à la conclusion que, non seulement il existe une liaison entre les deux termes, mais que l'ensemble de la phase de décroissance annuelle des salinités est sous la dépendance de ces fortes précipitations d'automne et d'hiver.

On constate, par exemple, que si le début de la phase de décroissance se situe toujours en automne c'est que de telles chutes de pluies s'observent régulièrement en cette saison, et non dans les

quatre ou cinq mois qui précèdent. On peut vérifier, sur la figure 37, qu'en 1961 les salinités ont commencé à décroître en novembre ; or 108 mm de pluies étaient tombés entre le 20 et le 24 du mois, quatre jours avant notre contrôle des salinités.

En 1962, l'absence de vérification de la salinité entre la fin août et le 27 novembre ne permet pas un contrôle précis du phénomène ; ce qui est certain c'est que, entre ces dates, plusieurs de ces fortes pluies ont eu lieu et que, parallèlement, les salinités ont subi une forte décroissance.

En 1963, le fort abaissement de salinité enregistré le 24 septembre suit une chute de 203 mm de pluies tombées en quatre jours, du 11 au 15 du même mois.

En 1964, il est caractéristique qu'aucune forte pluie n'est survenue avant le mois de novembre et que, cette année-là, la phase de croissance des salinités s'est prolongée jusqu'à ce mois ; en revanche, le 18 novembre, on constate que cette salinité a subi une chute de presque 5‰, alors que 140 mm de pluies sont tombées entre le 3 et le 9.

Il est donc absolument certain que la phase de décroissance des salinités ne s'amorce qu'avec la première des fortes et brusques précipitations d'automne.

En outre, quand les contrôles de la salinité sont suffisamment rapprochés, on constate que la décroissance des salinités provoquée par une forte pluie se maintient pendant environ un mois ou deux ; si les précipitations deviennent nulles ou presque pendant un tel laps de temps, les salinités auront tendance à remonter ou à plafonner, même pendant la mauvaise saison ; si les chutes de pluies sont moyennes, elles contribueront tout juste à maintenir les salinités en palier ou en très faible décroissance. Le graphique de la figure 37 indique clairement ce fait pour les années 1963 et 1964, années où les salinités ont été vérifiées chaque mois.

En 1963, après les grosses pluies du 11 au 15 septembre, les précipitations furent presque nulles jusqu'à la fin de novembre ; or on observe une remontée des salinités entre le 22 octobre et le 19 novembre ; dans ce cas, l'effet des fortes pluies de septembre s'est fait sentir pendant un mois 1/2.

A la fin de 1964, les fortes précipitations du début de novembre ont été suivies d'une période sèche ; celle-ci fut interrompue dans la dernière décade de décembre par de nouvelles pluies violentes (133 mm du 21 au 25 décembre). Notre contrôle des salinités, ce mois-là, eut lieu au début de cette série d'averses et avant les chutes de pluies massives. On constate que la teneur en sels, ce 22 décembre, était pratiquement identique à celle du 18 novembre (fig. 37). Cela montre encore que l'influence des pluies du début de novembre sur la baisse de salinité s'est fait sentir pendant un mois ou un mois et demi au maximum. Quant aux averses de la fin de décembre, elles n'ont pas failli à la règle, elles ont provoqué une nouvelle descente importante des salinités, descente dont seule l'amorce apparaît sur la figure 37 (du 22 décembre au 26 janvier les teneurs sont passées de 19 à 15‰). En revanche, aucune pluie marquante n'étant survenue en janvier et février 1965, dès le 25 février on enregistrerait une remontée des salinités.

Un cas de fortes pluies exceptionnellement tardives survenues au printemps de 1962, montre que de telles précipitations ont des effets comparables à celles de l'automne et de l'hiver. Cette année-là, en avril (fig. 37) des précipitations atteignant 106 mm eurent lieu, en 5 jours, entre le 16 et le 22. Deux contrôles des salinités permettent de vérifier l'effet de ces pluies. Le premier eut lieu le 25 avril, trois jours après les averses, et le second un mois et demi plus tard, le 14 juin. Or on constate que les deux salinités moyennes sont à peu près identiques, bien qu'aucune autre pluie vraiment importante ne fut observée entre ces deux contrôles. Cette observation montre que ces fortes pluies ont produit des effets du même ordre d'importance que pendant la mauvaise saison et que la phase de croissance des salinités ne peut franchement débiter que si aucune forte pluie ne vient s'y opposer.

En revanche, les pluies moyennes et discontinues ont certainement une influence plus marquée sur les salinités si elles tombent en automne ou en hiver, que si leurs chutes s'observent pendant la belle saison. Plusieurs illustrations de ce fait peuvent être relevées sur la figure 37. Arrêtons-nous seulement aux données de l'année 1964.

Cette année-là, on constate que des pluies d'une quarantaine de millimètres, en février et mars, suffisent à maintenir les salinités en palier ou en légère diminution ; au contraire, les précipitations sensiblement plus importantes de mai (72 mm sont tombés dans la dernière décade du mois) ont simplement freiné la remontée des salinités pendant une quinzaine (contrôle du 10 juin) ; dès le 19 juin, la hausse est franche et déjà importante (+ 2‰). De même, en juillet, août et septembre, des

pluies du même ordre d'importance qu'en février et mars n'ont pas empêché la croissance des salinités.

En définitive l'analyse des relations entre les précipitations et les variations de la salinité moyenne de l'étang impose clairement cette conclusion que toutes les décroissances de la salinité sont liées aux fortes et brusques précipitations (pluies d'au moins 100 mm tombant en quelques jours). Si les phases de décroissance se situent toujours en automne et en hiver c'est que, sauf de très rares exceptions, les pluies de ce type ne s'observent qu' pendant ces saisons. Tout indique néanmoins que, même en l'absence prolongée de telles précipitations, la croissance des salinités serait sensiblement moins accentuée pendant la mauvaise saison que pendant les mois du printemps et de l'été.

Il reste à examiner comment se font les déversements dans l'étang à la suite des fortes pluies, et comment il faut comprendre le rôle des écoulements permanents d'origine souterraine dans le contexte de ce qui vient d'être exposé.

2° Variations des salinités et apports d'origine souterraine.

Après avoir précisé ce qui est connu sur le débit des eaux de résurgences, il faut essayer de voir, dans ce dernier paragraphe concernant les apports d'eau continentale, comment le fait des écoulements d'origine souterraine se raccorde aux conclusions solides tirées des données de la pluviosité, ce qu'il ajoute à ces conclusions et, finalement, quelle est l'influence propre de ces écoulements sur les salinités.

a) Le problème du débit des résurgences et de ses variations. Si l'écoulement des eaux superficielles est relativement rapide et étroitement lié dans le temps aux précipitations, celui des eaux souterraines est toujours soumis à des décalages plus ou moins importants par rapport au moment des chutes de pluies. DUBOIS (1964), dans une étude sur la circulation dans les calcaires de la région de Montpellier, note que « dans une région à précipitations très discontinues, la masse calcaire joue un rôle régulateur incontestable, amassant un grand volume d'eau lors des pluies pour les restituer ensuite progressivement ».

Il est naturel de penser que la pérennité des résurgences, telles que celles de Font Estramer et de Font Dame, constitue une illustration évidente de ce rôle régulateur. Toutefois cette pérennité peut aussi bien s'expliquer en admettant que le réseau est en permanence alimenté, loin en amont, par des pertes de cours d'eau eux-mêmes permanents.

Quoi qu'il en soit, c'est un fait que la réserve karstique qui alimente les résurgences de Font Estramer et de Font Dame est toujours en surpression ; les seuls points qu'il nous importerait de connaître avec précision seraient l'importance des débits, leurs variations et éventuellement la corrélation qui relie ces écoulements à la fréquence et à l'abondance des précipitations.

En général on ne possède que peu de données précises sur ce genre de problème, du moins en ce qui concerne les réseaux souterrains méridionaux ; plus précisément, sur l'alimentation du réseau karstique du massif des Corbières orientales, on peut dire qu'actuellement encore on ne sait pratiquement rien. Selon GOR (1965), une coloration à la fluorescéine effectuée en novembre 1962 par un groupe spéléologique de Perpignan, a prouvé que, au moment des fortes pluies, il y avait au moins une voie de cheminement reliant un aven situé au nord-ouest de Salses à la Font Estramer. La distance entre les deux points est de 5 700 m ; la durée entre le déversement de la fluorescéine dans l'aven et sa réapparition à Font Estramer fut de trois jours. Mais l'auteur souligne qu'on n'a pas encore expliqué la provenance de toutes les eaux de ces résurgences « qui débitent, même par temps sec, alors que les avens ne sont pas alimentés. »

Quant aux évaluations du débit des eaux qui sortent du massif, dans l'ouest du bassin de Salses, elles sont loin d'être précises et sont certainement très incomplètes ; les seuls essais de mesures qui aient été tentés le furent avec des moyens rudimentaires et uniquement sur les eaux de la Rigole et du ruisseau de Font Dame. D'un autre côté on ne sait rien sur les quantités d'eaux qui s'écoulent par les « agouilles » situées au sud du ruisseau de Font Dame et qui drainent la partie sud de la zone marécageuse.

GOR avance les chiffres de 5 à 10 m³ en moyenne pour l'ensemble des écoulements dans l'étang. Toutefois il convient de remarquer que cette évaluation, comme sans doute la plupart de celles qui ont été avancées, résultent d'une seule observation, à un moment donné de l'année.

Pour notre part, nous avons effectué quelques essais de mesure du débit, sur la Rigole, par où s'écoulent les eaux de la Font Estramer ; surtout nous avons tenté, pendant plus d'une année (1964,

1965 et début 1966), de vérifier les variations de ces débits en contrôlant les fluctuations de la hauteur de l'eau.

En réalité des renseignements précis, au moins sur les variations de l'écoulement de cette Font Estramer, ne pourraient être acquis que par des mesures continues des hauteurs d'eau dans la vasque même car, en aval, pendant les périodes de forts débits, l'eau sort du lit de la Rigole et s'étale sur la zone marécageuse qui la borde, empêchant toute mesure sérieuse.



FIG. 38. — La Font Estramer et ses abords immédiats en période de forte crue (octobre 1965). En haut, vue sur la vasque même ; l'un des deux ponts routiers, sous lesquels passe le trop-plein, est visible. En bas, à gauche, écoulement du trop-plein immédiatement en aval du pont ; à droite, zone inondée, toujours en aval du même pont.

Nos observations sur la Font Estramer n'ont cependant pas été totalement inutiles. Elles suffisent par exemple pour donner la certitude que le débit peut varier considérablement (probablement de l'ordre de 1 à au moins 10 m³/s) ; elles permettent d'affirmer aussi que les fortes pluies provoquent rapidement une augmentation considérable du débit. C'est ainsi qu'après les énormes précipitations d'octobre 1965, c'est à peine si les arches des ponts, qui enjambent les deux chenaux d'écoulement du trop plein de Font Estramer, suffisaient à leur livrer passage et la zone marécageuse, de part et d'autre de la Rigole, était complètement inondée (fig. 38).

Il y a donc une relation certaine entre l'abondance des pluies et le débit de ces résurgences, mais selon toute apparence, les grosses venues d'eau qui suivent les fortes pluies sont de courte durée ; au bout d'une semaine ou deux, le débit reprend, sinon le régime qu'on observe dans les longues périodes sèches, du moins un niveau moyen qui semble plus voisin de ce régime que de celui qui suit immédiatement les fortes pluies. C'est ainsi, par exemple, qu'après la forte crue correspondant aux pluies exceptionnelles d'octobre 1965, le 14 de ce mois, la hauteur de l'eau n'était plus mesurable à notre point habituel de contrôle du fait de l'inondation ; en revanche, un mois plus tard, le 17 novembre cette hauteur s'établissait à 1,27 m, niveau qui ne dépasse que très peu ceux que l'on observe la plupart du temps au cours de l'année (fig. 39).

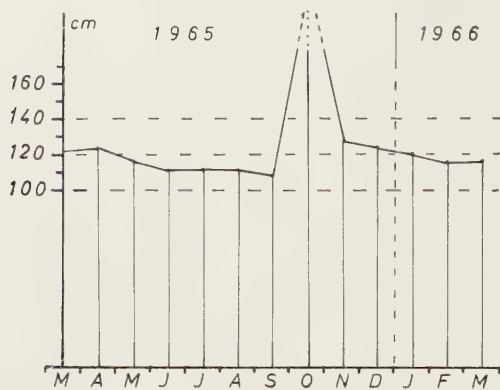


FIG. 39. — Hauteurs en centimètres des eaux issues de la Font Estramer ; mesures effectuées en aval de la source dans un des ruisseaux d'évacuation qui forment la Rigole.

Quant aux eaux qui s'écoulent par le ruisseau de Font Dame et par les « agouilles », bien qu'aucune mesure précise n'en ait jamais été faite, contrairement à l'opinion de divers auteurs, nos observations conduisent à penser qu'elles sont plus abondantes que celles de la Font Estramer. En ce qui touche leurs variations de débit, aucune observation ne permet d'en juger, mais il est probable qu'elles sont du même type que celles de la Font Estramer.

Finalement, s'il fallait avancer une opinion sur les débits de l'ensemble des eaux continentales qui se déversent dans cette zone ouest du bassin de Salses, nous dirions qu'en régime habituel et normal ils sont de l'ordre de 2 à 5 m³/s mais que, pendant de courtes périodes, à la suite des fortes pluies, ils doivent atteindre des valeurs de 15 à 20 m³/s et peut-être davantage.

Au total les données sont loin d'être suffisamment précises pour permettre d'établir une corrélation rigoureuse entre les débits des résurgences et les variations de la salinité.

Néanmoins les observations rapportées ici conduisent à concevoir que les écoulements se font selon deux régimes assez tranchés : un régime de crue et un régime normal. Le premier est en relation directe avec les fortes pluies et ne s'observe que pendant les durées relativement courtes. Le second pourrait être qualifié de régime « habituel » ; il se caractérise par sa relative constance ; certes, les débits les plus faibles s'observent incontestablement en été, vers la fin de la saison sèche, mais ceux-ci ne sont pas considérablement inférieurs à ceux de l'ensemble de l'année (fig. 39).

En ces deux points se résume tout ce qu'il est possible de dire sur ces écoulements d'origine souterraine (1).

b) L'influence des écoulements souterrains sur les salinités. Si aucune corrélation précise et directe ne peut être établie entre les écoulements d'origine souterraine et les salinités, il faut bien voir que cette lacune ne constitue pas en elle-même un inconvénient majeur pour résoudre le problème de l'influence des apports continentaux sur les variations des salinités. Il faut souligner que, quel que soit le régime des écoulements souterrains, les relations entre pluies et salinités, dégagées précédemment, fixent par avance les limites à attribuer à l'influence de ces écoulements, du moins à l'échelle des salinités moyennes telles qu'elles apparaissent sur les cycles annuels.

Il a été démontré que seules les fortes et brusques pluies sont suivies d'un abaissement sensible des salinités, au point que toutes les phases de décroissance, présentées par les cycles annuels, apparaissent comme liées, dans leurs durées aussi bien que dans leurs amplitudes, au nombre de ces fortes pluies ; de plus, il est certain que les chutes de la salinité suivent de très près (au bout de quelques jours) les fortes précipitations ; enfin il a été dit qu'en l'absence prolongée de précipitations de ce type, les salinités ont tendance à s'élever, quelle que soit la période de l'année où s'observe cette phase de sécheresse.

(1) Depuis que ces lignes ont été rédigées, une étude de KIENER et PETIT a apporté quelques précisions intéressantes sur les eaux de ses résurgences : KIENER (A.) et PETIT (G.), 1968. — Contribution à l'étude écologique et biologique de la résurgence de Font-Estramer et de quelques sources vauclusiennes de la région de Salses - La Nouvelle. — *Vie et Milieu*, Bull. Lab. Arago, 19 (2 C). 241-285.

Il est bien clair que ces données répondent à peu près à toutes les questions importantes qui peuvent se poser au sujet des relations entre les apports d'eau continentale et les variations des salinités. Que les eaux soient livrées par l'intermédiaire de cours d'eaux souterrains ou non, ne change rien aux conclusions établies.

Si l'on admet que toutes les eaux issues des fortes précipitations sont livrées à l'étang par l'intermédiaire des réseaux souterrains, on doit en conclure que la régulation qu'ils entraînent est peu importante.

Nous avons vu qu'à la suite des fortes pluies les résurgences présentaient une recrudescence considérable de leur débit ; il est vraisemblable que ce régime de crue est dû au fait que, dans ces circonstances, les cours d'eaux souterrains recueillent rapidement de grandes quantités d'eau par toutes les fissures, fentes (ou avens) qui sillonnent les calcaires, eau qui vient transitoirement s'ajouter à celles qui assurent la permanence des écoulements.

D'un autre côté, il convient de remarquer que, en plus de ces apports souterrains, l'étang recueille énormément d'eau superficielle dans ces moments-là. Généralement ces fortes précipitations provoquent l'inondation de toute la partie basse de la plaine de la Salanque, inondations qui se résorbent dans l'étang par tous les ruisseaux, canaux et agouilles de la partie sud et sud-ouest.

En définitive les chutes de la salinité sont le résultat à la fois d'apports souterrains amplifiés par les fortes pluies et d'apports superficiels.

Cela dit, on doit se demander s'il faut toutefois mettre au compte de la régulation souterraine le fait que la dessalure provoquée par les fortes pluies se maintient bien au-delà du moment où cessent les précipitations.

Il est plausible et probable que les résurgences contribuent pour une part à cette prolongation de la dessalure, tant que leur débit demeure en régime de crue. Mais il convient de remarquer que ces effets à retardement relèvent certainement aussi de phénomènes de rétention, au sein même de la lagune, après la livraison massive des eaux continentales ; il est évident que toutes ces eaux ne sont pas évacuées instantanément en mer et remplacées par des eaux marines.

Ainsi, contrairement à ce que nous avons pensé d'abord, l'analyse rigoureuse des faits oblige à n'attribuer à la régulation due aux cheminements souterrains des eaux qu'une influence extrêmement réduite sur les variations de la salinité. On doit admettre qu'en régime normal, c'est-à-dire en dehors des brèves périodes de crues provoquées par les fortes pluies, les écoulements permanents des résurgences n'entraînent pas de baisses dans les salinités ; ils contribuent tout juste à les empêcher de remonter et encore, seulement pendant la mauvaise saison.

Cela dit, la constatation que l'influence directe des écoulements souterrains sur les variations de la salinité moyenne est faible ou nulle ne veut pas dire que cette influence sur les salinités de l'étang est elle-même faible ou nulle. Ce serait une affirmation absurde et fausse.

Si, en dehors des temps qui suivent immédiatement les fortes précipitations, ces apports permanents ne sont pas suffisants pour faire baisser les salinités, ni même pour les empêcher de s'élever, en particulier pendant la belle saison, il est non moins certain que, sans ces apports, la croissance des salinités serait plus importante qu'elle n'est en fait et que l'étang ne présenterait pas en permanence une telle infériorité de salinité par rapport à la mer.

II. - Le mécanisme des échanges et le problème des apports marins.

Jusque là, les apports continentaux ont été étudiés en eux-mêmes et dans leur liaison abstraite avec les variations des cycles de la salinité. Il faut maintenant s'interroger sur le devenir de ces apports une fois qu'ils ont été livrés à l'étang, et ceci dans les cas où ils provoquent des chutes de la salinité, comme dans les cas où cet effet n'apparaît plus ; il s'agit enfin de déterminer les causes qui, en dépit de ces apports permanents, suscitent les croissances de la salinité, croissances qui supposent une prédominance des apports marins pendant une bonne partie de l'année relativement aux apports continentaux.

1°) Situation de l'étang d'un point de vue dynamique.

La position de l'étang a été définie précédemment comme celle d'un trait d'union entre deux unités d'eaux chimiquement distinctes ; c'est une dépression où les eaux de ces deux unités viennent se mélanger. Les cycles de la salinité montrent que les proportions respectives de ces deux eaux

subissent des variations plus ou moins importantes tout au long de l'année. C'est donc que, entre la cuvette lagunaire et les deux milieux qui lui fournissent l'eau, existe un jeu de forces qui entretient des mouvements d'eau. Il est nécessaire de s'arrêter sur cet aspect dynamique des phénomènes pour expliquer complètement les observations faites sur le mélange.

Les forces essentielles et directes qui sont à l'origine des mouvements ne peuvent être que celles qui régissent pratiquement tous les écoulements d'eau de grande envergure dans la nature, c'est-à-dire les forces de la pression hydrostatique ; autrement dit, tout doit être commandé par la situation du niveau de l'étang par rapport aux niveaux des deux milieux dont il est tributaire.

En ce qui touche la position des eaux continentales par rapport à l'étang, la situation est simple ; on ne peut plus parler d'échanges, le mouvement d'eau se fait en sens unique ; c'est que le niveau des eaux continentales se situe toujours au-dessus de la surface de l'étang.

La considération de ce déversement continu, précisément, conduirait facilement à imaginer que les trois entités qui sont en jeu (eaux continentales, étang et mer) se situent sur trois plans d'altitudes décroissantes, formant un système d'écoulement en cascade et donc en sens unique.

Mais l'existence d'une phase annuelle de salinités croissantes exige qu'il y ait aussi des entrées d'eau, de la mer vers l'étang. A moins de concevoir que ces apports se fassent par voie interstitielle à travers les sédiments (hypothèse que nous avons examinée mais qui soulève plus de problème qu'elle n'en résout), il faut admettre que la lagune n'est pas toujours en surpression hydrostatique par rapport à la mer.

En fait, pour définir la position mutuelle de l'étang et de la mer, il faut substituer au schéma d'un système en cascades, celui de *deux vases communicants*. Dans un tel système, les deux unités tendent toujours à se mettre au même niveau. En conséquence, il ne peut y avoir échanges que dans la mesure où un déséquilibre hydrostatique apparaît entre les deux milieux.

Mais précisément, des causes de rupture d'équilibre existent d'un côté comme de l'autre. Du côté de l'étang, l'apport incessant des eaux de résurgence tend perpétuellement à maintenir la lagune en surpression par rapport à la mer. D'un autre côté, celle-ci est soumise à des oscillations qui la mettent, tantôt en dépression, tantôt en surpression par rapport à l'étang.

Il est nécessaire d'examiner et de comparer l'importance respective des déséquilibres hydrostatiques provoqués par les fluctuations du niveau marin et par les apports continentaux.

2°) Les fluctuations du niveau de la mer.

En ce qui touche les variations de niveau de la Méditerranée et leurs répercussions sur une unité lagunaire, l'étude d'AUDOUIN (1962) sur l'hydrologie de l'étang de Thau apporte de précieux enseignements ; l'existence de marégraphes situés l'un en bordure de la mer, l'autre à l'entrée de l'étang, lui a permis d'apporter des précisions qui sont d'autant plus précieuses pour cet exposé que, d'une part il s'agit dans les deux cas de lagunes situées sur le golfe du Lion et dans des régions où le régime météorologique est très voisin, et que d'autre part une telle étude directe n'a pu être effectuée pour l'étang de Salses-Leucate faute d'installations analogues.

Cette étude d'AUDOUIN démontre que deux sortes de variations affectent le niveau de la surface de la mer. En premier lieu, le phénomène général des marées crée des oscillations biquotidiennes dont l'amplitude peut varier de 1 à 30 cm mais se tient presque toujours entre 10 et 20 cm. La répercussion de ces variations, fréquentes mais peu durables, sur le niveau de l'étang de Thau est faible ; elle se traduit en général par des variations de même sens, mais seulement de quelques centimètres (généralement de 1 à 5 cm). Autrement dit, on vérifie que la loi des vases communicants joue effectivement entre la mer et l'étang ; en conséquence, le niveau de ce dernier tend toujours à s'aligner sur celui de la mer. Si en fait les mouvements d'eau ne parviennent pas à réaliser cet équilibre c'est que l'étroitesse des canaux qui relient les deux unités limite le débit des échanges.

Mais, si les marées sont une première cause de variation du niveau de la mer, d'autres causes de dénivellation, positives ou négatives, à la fois plus importantes et plus durables, viennent très fréquemment interférer avec les premières ; ce sont les modifications de niveau liées aux vents, ceux-ci dépendant eux-mêmes de la configuration changeante des champs de la pression atmosphérique.

Il est d'observation courante, dans toutes les lagunes méditerranéennes, que les vents de N-NO, en créant un refoulement des eaux côtières vers le large, mettent la mer en dépression et font se vider les étangs ; inversement les vents marins mettent la mer en surpression et les étangs se remplissent.

AUDOUIN (1962) montre que des abaissements (par vents de secteur nord) ou des élévations (par vents de secteur est) de 20 à 30 cm sont courants (il a même observé des dénivellations atteignant 45 et 55 cm). De plus, dans ces cas, les variations de niveau affectent de façon égale aussi bien l'étang que la mer. C'est qu'habituellement ces surpressions (ou dépressions) marines se maintiennent souvent pendant plusieurs jours sans discontinuer, ce qui laisse suffisamment de temps pour que les échanges d'eau puissent établir l'équilibre entre les deux unités.

Ceci dit, en ce qui touche l'étang de Salses-Leucate, on peut tenir pour certain que les fluctuations du niveau marin dans cette région sont du même ordre d'amplitude que dans le secteur de Sète. Mais, pour ce qui est de leurs effets dynamiques sur les échanges entre la mer et l'étang, la situation de cette lagune présente deux différences importantes avec celle de l'étang de Thau ; d'une part le grau de Leucate est sensiblement moins important que la communication qui relie l'étang de Thau à la mer ; d'autre part les apports incessants d'eaux continentales dans l'étang de Salses viennent interférer sans cesse dans la recherche d'équilibre hydrostatique qui se joue entre la mer et l'étang.

Jusqu'à quel point ces circonstances peuvent-elles peser sur le déroulement normal du mécanisme des échanges entre la mer et l'étang ?

Même s'il n'est pas possible de résoudre parfaitement ce problème, faute d'une étude directe des phénomènes, il convient de l'aborder en exposant divers éléments qui peuvent l'éclairer.

3° Influence des apports continentaux sur le niveau de l'étang.

Pour fixer les idées sur l'importance relative du rôle des eaux continentales et de celui de la mer dans le jeu de la balance hydrostatique, il est bon de fixer quelques points de repère concrets pouvant servir de termes de comparaison.

En prenant comme surface totale de l'étang, annexes et diverticules compris, le chiffre arrondi de 5 400 ha, on calcule que pour augmenter le niveau de 1 cm il faut un apport de 540 000 m³. Admettons que le débit total des eaux continentales varie de 3 à 20 m³/s. Un débit de 3 m³/s apporte à peu près 260 000 m³ par jour et élève le niveau de 5 mm. Un débit de 20 m³/s apporte 1 728 000 m³ en 24 heures et élève le niveau de 3,2 cm.

Si l'on met la faible élévation de niveau créée par ces débits en parallèle avec les dénivellations courantes de la mer (10 à 30 cm), on est facilement tenté de conclure qu'en définitive c'est bien la mer qui commande le jeu de la balance des échanges et donc le niveau de l'étang. En réalité les choses ne sont pas si simples ; cette façon de voir ne serait exacte que si les possibilités de débit entre la mer et l'étang étaient suffisamment importantes pour permettre des équilibres quasi instantanés ou en tout cas très rapides. On vient de voir que, même dans l'étang de Thau, où les communications sont plus importantes qu'à Salses-Leucate, l'établissement d'un état d'équilibre demandait un temps assez long et qu'en particulier des variations de 10 à 20 cm du niveau marin dues aux marées se traduisaient, dans l'étang, par des fluctuations de quelques centimètres. Cette circonstance peut modifier profondément les données du problème. De plus, il faut penser que la disposition même des éléments du système eau continentale-mer-étang est telle qu'elle doit tendre normalement à produire des effets de cumul du côté étang. Les considérations suivantes permettront de mieux le comprendre.

En ce qui touche les variations de niveau de l'étang on doit admettre les points suivants.

a) Les phases de surpression marines ne peuvent être que des temps où le niveau de l'étang monte, et cela à un double titre, par l'apport d'eau de mer qu'elles provoquent d'une part et par le déversement des eaux continentales qui se fait pendant ce temps d'autre part.

b) Les phases de dépressions marines ne sont pas nécessairement des phases pendant lesquelles le niveau de l'étang s'abaissera ; cette baisse n'aura lieu que si le volume de mélange lagunaire qui s'évacue en mer est supérieur au volume d'eau continentale qui se déverse dans l'étang pendant ce temps. Si ce dernier est égal ou supérieur au volume rejeté en mer, le niveau de l'étang ne pourra que rester invariable ou s'élever quelle que soit la durée de la phase de dépression.

c) Si l'on considère le bilan, non plus de chaque phase mais celui d'une succession de périodes de surpressions et de dépressions marines, une étude systématique démontre que le niveau de l'étang ne peut revenir à une cote d'équilibre qu'à deux conditions : que le débit entre mer et étang ait été au moins le double de celui des résurgences et que la durée des dépressions marines ait été le triple

de la durée de la surpression (ou encore que le débit soit triple et la durée de dépression le double). Au-delà de ces valeurs, le niveau de l'étang tendrait à baisser ; en-deçà il ne pourrait que s'élever.

Les données de cette analyse soulignent à quel point les apports continentaux viennent peser dans le jeu normal de la balance des échanges entre la mer et l'étang et comment ils contribuent à maintenir ce dernier en surpression.

Encore convient-il de remarquer que dans les exemples cités précédemment, le débit de 20 m³/s a été considéré comme l'écoulement maximum des eaux continentales dans l'étang. En réalité, il est certain que, lors des fortes pluies d'automne, les apports totaux (résurgences et ruissellement) dépassent sensiblement cette évaluation.

Le cas extrême, observé en octobre 1965, mérite qu'on s'y arrête. Par son caractère exceptionnel il a le mérite de poser clairement le problème. Un contrôle des salinités effectué le 23 septembre indiquait que le pourcentage des eaux continentales était seulement d'environ 25 % ; or le 3 novembre il s'était élevé à 80 %. Les pluies qui avaient provoqué cette variation étaient tombées à partir du 5 octobre (449 mm du 5 au 12 et 299 mm du 15 au 25 octobre). On calculerait que pour créer l'abaissement de salinité observé, dans une cuvette close contenant 100 millions de m³, il faudrait y ajouter approximativement 210 millions de m³ d'eau pure ; cette quantité provoquerait une élévation de niveau de 4 m dans l'étang. De plus, même en admettant que le déversement se serait étalé uniformément sur 30 jours (du 5 au 3 novembre), on obtient un écoulement moyen de 81 m³/s.

Un autre exemple plus courant, celui de novembre 1964, indique, compte tenu de la date du contrôle des salinités et du début des pluies, que 28 millions de m³ d'eau continentale au minimum, ont été livrés à l'étang en 10 jours ; ce volume correspond à un débit de 32 m³/s et à une élévation du niveau de l'étang de 0,50 m.

Si déjà, dans son fonctionnement habituel, le système a tendance à maintenir l'étang en état de surpression par rapport à la mer, il est évident que, dans ces circonstances, cet état de choses est considérablement amplifié.

Avant de terminer ce paragraphe il reste à examiner comment, lors de ces apports massifs, l'évacuation des eaux peut s'effectuer, compte tenu des données qui viennent d'être exposées.

Dès l'abord, un fait certain s'impose, c'est que les conditions d'équilibre exigées par l'analyse théorique sont effectivement remplies, même lors des apports considérables qui suivent les fortes pluies ; si la poussée des eaux continentales crée une tendance indiscutable à faire monter indéfiniment le niveau de l'étang, il n'en reste pas moins vrai qu'en réalité celui-ci se stabilise et ne va jamais jusqu'à provoquer des inondations ; c'est donc que des écoulements en mer sont suffisants.

En dépit de ce qui a été dit sur la faiblesse de son débit habituel, le grau de Leucate en lui-même est en mesure d'assurer cette évacuation. Les travaux de canalisation de 1960 lui ont donné une largeur de 24 m et son seuil, au départ du grau en mer, est à la cote de 1 m au-dessous du niveau de la mer.

Il faut souligner qu'avec de telles communications l'importance du débit est, jusqu'à une certaine limite supérieure, fonction précisément de la dénivellation qui s'établit entre les deux unités qu'elles relient. A partir des données d'AUDOUN (1962), on peut vérifier par exemple que le débit des canaux de Sète peut varier d'environ 60 m³/s (sous l'effet d'une marée) jusqu'à près de 300 m³/s (par vents de sud-est). Des débits de cette importance dépassent sensiblement les possibilités du grau de Leucate, mais des élévations d'au moins 1 m par rapport au niveau 0 y ont été observées par gros temps ; d'autre part son tracé est beaucoup plus court et direct que celui des canaux de Sète et il est plausible que la vitesse du courant puisse y être supérieure. Avec une hauteur d'eau de 2 m et une vitesse de 1,5 m/s, le débit s'établirait à 72 m³/s. On peut raisonnablement admettre qu'un tel débit permet de rétablir l'équilibre en toutes circonstances.

Quant aux ensablements qui obstruent le grau du côté de l'étang, ils peuvent contribuer à faire croître le niveau jusqu'à un certain point, mais de nombreuses observations montrent que dans une telle situation, quand la surpression devient suffisante, l'eau finit toujours par se frayer un passage, se creusant une ouverture adéquate qui ramène l'équilibre. On peut rappeler à ce propos que selon GOURRET (1897), en un temps où le grau non canalisé demeurait souvent totalement bouché, les eaux se frayaient un passage, en période hivernale, aux moments de forts apports continentaux, comme aussi, et en sens inverse, par les fortes tempêtes de sud-est. VERNHET (1955) et DELAMARE-DEBOUTTEVILLE (1960) décrivent d'autres cas de rivières ou lagunes à grau intermittent situées sur cette même côte du Roussillon.

Ces considérations permettent de comprendre que la suppression de l'étang ne peut croître indéfiniment, aussi bien lors des apports habituels que lors des déversements massifs.

Il demeure que tout ce qui vient d'être exposé souligne l'importance du rôle des apports continentaux sur la dynamique des échanges. On doit se demander comment, dans de telles conditions, des apports marins prédominants pendant toute une saison peuvent se concevoir ; c'est ce qui va être examiné dans les paragraphes qui suivent.

4° Les conditions d'échanges pour obtenir des salinités croissantes.

Comme pour l'examen des variations de niveau, pour éclairer ce problème il faut s'arrêter sur les considérations suivantes.

a) Les phases pendant lesquelles la mer est en dépression par rapport à l'étang ne peuvent être que des temps pendant lesquels la salinité de la lagune s'abaisse. Au cours de ces phases un certain volume du mélange salé lagunaire se déverse en mer et, en même temps, de l'eau continentale est livrée à l'étang. Bien entendu la dessalure produite dépend de la durée des temps de dépression et de l'importance de l'apport continental comparé à celui du volume du mélange rejeté en mer.

b) Les phases de suppression marine ne contribuent pas nécessairement à faire remonter la salinité de l'étang ; elles ne le feront que si les apports d'eau de mer qu'elles provoquent sont supérieurs au déversement d'eau continentale qui a lieu simultanément. Si l'apport des deux catégories d'eaux est égal, les salinités de l'étang demeurent inchangées ; si l'apport d'eau continentale l'emporte, les salinités de l'étang continueront à baisser.

c) Si l'on considère une succession de phases de dépressions et de suppressions marines, l'analyse théorique de tous les cas possibles démontre que les salinités ne peuvent s'accroître que par la conjonction de différentes conditions : d'abord en toute hypothèse, quelle que soit l'importance comparée des phases de surpression et de dépression marines, le débit de la mer vers l'étang doit être plus élevé que le débit des eaux continentales dans l'étang.

Si cette première condition est remplie il existe divers cas, dépendant du rapport de durée des phases de dépressions et de suppressions marines qui permettent une remontée des salinités du mélange lagunaire. C'est ce qui se produira, par exemple, si les temps de suppressions marines l'emportent sur les temps de dépressions. Cependant si les temps de suppressions marines sont seulement égaux aux temps de dépressions, les salinités peuvent encore augmenter, mais alors le volume débité de la mer vers l'étang doit être plus de deux fois supérieur à celui du débit des eaux continentales, les salinités pourront également s'élever, même avec des dépressions qui l'emportent sur les suppressions, mais alors plus cette supériorité des dépressions est forte, plus le débit entre mer et étang doit l'emporter par rapport aux écoulements d'eaux continentales, pendant les phases de surpression.

Cela dit, la confrontation des conditions énoncées et de l'ensemble des données réelles, portant à la fois sur l'agencement du système lagunaire (avec ses écoulements permanents d'eau continentale et la faiblesse habituelle du grau) et sur les facteurs qui commandent les oscillations du niveau marin, aboutit aux conclusions suivantes.

D'une part des entrées d'eaux marines, suffisantes pour créer une hausse momentanée des salinités, peuvent encore se concevoir par tempêtes de sud-est, s'il n'y a pas eu de fortes précipitations depuis un certain temps, c'est-à-dire si le niveau de l'étang n'est pas trop élevé (c'est ce qui peut expliquer le maintien en palier et même les légères remontées de la salinité observées parfois pendant la mauvaise saison). D'autre part l'existence d'une période, généralement de 5 ou 6 mois, pendant laquelle chaque année les salinités croissent de façon continue et importante, apparaît comme un phénomène parfaitement incompréhensible si l'on ne prend en considération que les facteurs de déséquilibre hydrostatiques invoqués.

C'est cette difficulté qui nous a conduits à examiner le rôle de l'évaporation et les modalités de son intervention.

III. - Le rôle de l'évaporation.

Les auteurs s'accordent pour admettre que la hauteur d'eau évaporée par les grandes nappes d'eau libre, dans les régions méditerranéennes de la France, se tient entre 1 000 et 1 500 mm par an (REMENIERAS, 1960 ; CASTANY, 1967).

Ces estimations appliquées à l'étang de Salses-Leucate, correspondent à des quantités d'eau allant de 54 à 81 millions de m^3 d'eau évaporée soit, dans l'hypothèse la plus faible, à plus de la moitié du volume total de l'étang.

De telles valeurs globales attirent déjà l'attention sur la haute probabilité de l'influence de ce facteur sur les accroissements des salinités. Mais pour comprendre selon quelles modalités cette évaporation peut jouer un rôle sur les variations du cycle annuel de la salinité il faut en examiner la répartition mensuelle.

La figure 40 présente des moyennes mensuelles d'évaporation (mesurées à l'évaporomètre Piche) observées dans la région de Salses-Leucate. Ce sont, d'une part les moyennes de 5 années complètes (1956 à 1961) (fig. 40a) et d'autre part les moyennes de 7 années (1956 et 1960 à 1966) pour les mois d'avril à octobre seulement (fig. 40b).

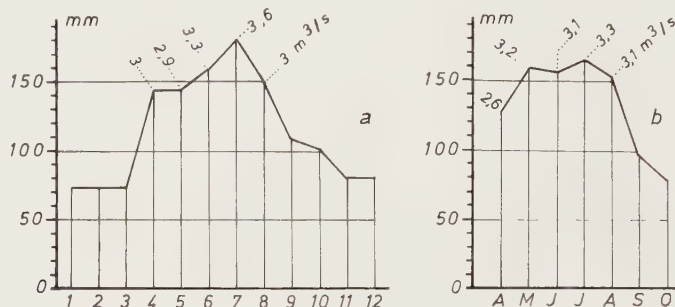


FIG. 40. — Moyennes mensuelles de l'évaporation observées dans la région de Salses-Leucate. a : pour les années 1956 à 1961 ; b : pour les années 1956 et 1960 à 1966. L'évaporation en m^3/s est indiquée pour les mois d'avril à septembre.

Ces graphiques mettent en évidence une correspondance remarquable ; les mois où l'évaporation est de beaucoup la plus élevée sont ceux pendant lesquels se situe toujours la phase de croissance des salinités. Ce sont aussi ceux pendant lesquels les pluies sont les plus faibles et où le débit des résurgences se maintient à l'étiage.

Cela dit, il n'est pas sans intérêt précisément d'exprimer les quantités d'eau évaporées en terme de débit, c'est-à-dire en m^3/s . Les valeurs obtenues pour les 5 mois où l'évaporation est la plus forte sont portées sur les graphiques de la figure 40 ; elles se tiennent pratiquement toutes entre 3 et 4 m^3/s .

Ce sont là des valeurs qui sont du même ordre de grandeur que celles qui sont admises pour le débit des résurgences en cette saison. Autrement dit, on peut admettre que la quantité d'eau qui est soustraite chaque jour à l'étang par l'évaporation est égale, au cours de ces mois, à celle qui lui est apportée par les résurgences.

C'est là un point capital, car les conséquences de cette équivalence font tomber toutes les difficultés qu'il y avait pour expliquer l'existence d'une phase annuelle de croissance des salinités.

Dans ces conditions, l'élévation de niveau, et donc la surpression hydrostatique, que les eaux continentales créaient du côté de l'étang se trouvent annihilée par l'évaporation. Du point de vue dynamique, tous les échanges sont désormais réglés uniquement par le jeu des oscillations marines. En particulier quand l'eau sort de l'étang le niveau de celui-ci baisse nécessairement désormais ; du fait même, la mer se trouve beaucoup plus facilement et fréquemment en surpression ; elle l'est pratiquement à chacune des phases positives de ses oscillations ; il en résulte que l'eau de mer entre dans l'étang pour rétablir l'équilibre à chacune de ces phases.

D'un autre côté, sur le plan chimique, les effets d'une évaporation équivalente aux apports continentaux ne sont pas moins importants pour expliquer la croissance des salinités. Certes, dans de telles conditions, l'évaporation ne provoque pas une concentration des sels (sur ce point les écoulements permanents ont un rôle négatif mais réel), mais elle supprime le phénomène de dilution que l'eau continentale provoquerait. En d'autres termes, il y a neutralisation réciproque des effets chimiques qui découleraient normalement aussi bien du jeu de l'évaporation que de celui des écou-

lement continentaux. Sur ce plan, l'eau de l'étang n'est donc plus affectée par les deux facteurs et, de leur seul fait, la salinité du mélange tend à demeurer constante.

En définitive, pendant les mois où règnent de telles conditions, la succession des oscillations marines a pour résultat final de remplacer peu à peu avec de l'eau de mer un mélange que plus rien ne tend à diluer davantage.

En annihilant les effets à la fois dynamiques et chimiques des eaux continentales, l'évaporation rend, non seulement possible, mais même inéluctable, l'existence d'une longue phase annuelle de croissance des salinités.

A ce point de notre recherche se trouvent donc élucidées les causes qui expliquent les deux catégories de variations les plus fondamentales qui affectent les salinités de l'étang, c'est-à-dire la succession indéfinie de phases de croissance et de phases de décroissance.

Un dernier paragraphe va être consacré à faire une récapitulation et une synthèse de ce qui vient d'être exposé et à donner une brève interprétation des autres types de variations signalées.

IV. - *Interprétation des variations de la salinité en fonction des apports continentaux, de l'évaporation et du mécanisme des échanges.*

1° *Interprétation du cycle annuel.*

a) *Les phases de décroissance des salinités.* Un premier fait indiscutable est que toutes les décroissances importantes des salinités sont liées à de fortes précipitations, fournissant au moins 100 mm en un temps bref (en 8 jours au plus).

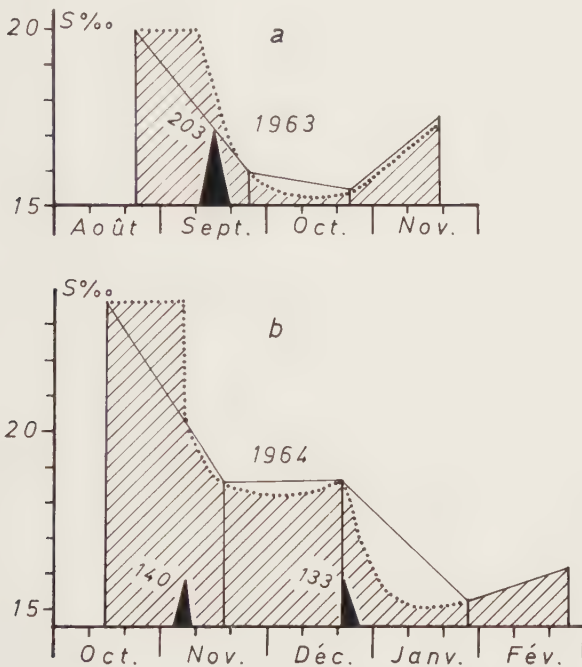


FIG. 41. — *Interprétation graphique des variations décroissantes des salinités.* Les traits verticaux donnent la valeur des salinités contrôlées et la ligne brisée qui relie leur sommet correspond au tracé habituel des salinités. La bordure de la partie hachurée représente l'allure réelle des variations, compte tenu des fortes pluies dont l'échéance, la durée et l'importance sont indiquées par les triangles noirs.

Toutes les précipitations de ce type, et elles seules, sont suivies d'une chute marquante des salinités (fig. 37) ; finalement l'amplitude de la décroissance saisonnière est liée essentiellement au nombre des pluies intenses qui surviendront de l'automne jusqu'au début du printemps.

De plus, il est certain que la décroissance ne doit pas être conçue comme un phénomène progressif et continu ; elle se fait selon un tracé en « marches d'escalier ». Sur ce point, les courbes des salinités faites de segments de droite qui relient les valeurs observées périodiquement, telles que sur les figures 22 et 37, ne donnent pas une bonne représentation des faits.

Les deux graphiques de la figure 41 présentent une image plus exacte de la réalité ; ils résument comment on doit concevoir toutes les décroissances des salinités. Il est bien évident que la chute ne s'amorce qu'après le début des précipitations ; de plus, la proximité de certains contrôles après les pluies, comme en septembre 1963 (fig. 41 a) ou en novembre 1964 (fig. 41 b), permet d'affirmer que la quasi totalité de l'abaissement de salinités s'opère au cours même des précipitations et dans les quelques jours qui suivent ; d'un autre côté, les contrôles ultérieurs montrent que, après ce fort abaissement, les salinités demeurent plus ou moins en palier pendant au moins une durée d'un mois.

Ces observations permettent de décomposer la suite des phénomènes, à la fois sur le plan chimique et dynamique, en trois phases.

Première phase : les fortes précipitations provoquent un déversement massif d'eaux continentales dans l'étang, à la fois par les résurgences, les agouilles et les moindres chenaux de drainage ; ce déversement, qui entraîne la chute rapide des salinités en quelques jours, provoque une hausse rapide de niveau qui met l'étang en état de surpression par rapport à la mer, quel que soit le niveau de celle-ci ; cette surpression provoquera à son tour le déblaiement des sables décrit précédemment et le mélange lagunaire s'écoulera massivement en mer.

Deuxième phase : après la période relativement brève de ce bouleversement chimique et dynamique, l'étang retrouve un état de relative stagnation sur ces deux plans. La concentration saline de la lagune demeure affaiblie du fait de la rétention d'une partie des eaux reçues ; de plus, les eaux continentales continuent à se déverser à un débit suffisamment élevé pour que, dans les échanges entre la mer et l'étang, les apports d'eau marine soient inférieurs aux écoulements d'eau continentale ; en conséquence, les salinités demeurent affaiblies ou continuent à décroître, mais de façon beaucoup moins accentuée que précédemment.

Troisième phase : cette phase concerne l'observation des légères augmentations de salinité constatées dans le courant même de la phase de décroissance annuelle (fig. 41).

Il convient d'abord de remarquer que, en ces périodes de l'année, les hausses sont toujours brèves et peu importantes ; elles ne s'observent que si les fortes pluies sont suivies d'une période assez longue où les précipitations sont nulles ou faibles et discontinues.

Ces observations conduisent à reconstituer de la façon suivante les phénomènes qui provoquent ces remontées de la salinité.

D'un côté, le débit des résurgences, qui n'est entretenu par aucune pluie d'importance, revient à son régime normal au bout de deux ou trois semaines. De ce fait, la surpression que les eaux continentales tendent à créer du côté de l'étang devient moins forte. Dans ces conditions, une période de fortes dépressions marines peut ramener l'étang à un niveau normal, sinon bas. Qu'il survienne alors de fortes surpressions marines pendant quelques jours (tempête de sud-est, non accompagnée de fortes pluies, comme on en observe de temps à autre au cours de la mauvaise saison), il pourra y avoir facilement des entrées massives d'eau de mer à un débit qui l'emporte sur les apports continentaux. Un contrôle effectué au cours de cette période, ou peu après, enregistrera alors une hausse des salinités.

b) Les phases de croissance des salinités. Au cours de la belle saison, la croissance des salinités, qui se poursuit de mois en mois sans discontinuer, ne peut absolument plus s'interpréter de la même façon que les hausses relativement courtes et faibles qui viennent d'être mentionnées.

Ainsi qu'il a été exposé, l'élévation durable et constante des salinités s'explique par la conjonction des faits suivants :

absence habituelle à partir du mois d'avril de ces fortes et brusques précipitations qui entraînent la chute des salinités ;

apports continentaux dus au seul débit des résurgences fonctionnant en régime d'étiage ;

apparition des facteurs qui créent une évaporation telle que la quantité d'eau enlevée à l'étang est du même ordre de grandeur que celle qui est apportée par les résurgences.

Nous avons vu en détail comment, dans de telles conditions, le bilan des échanges entre la mer et l'étang ne pouvait fatalement se solder que par un accroissement durable des salinités. Nous ne croyons pas utile d'y revenir.

En revanche il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que l'allure comparée des phases de croissance d'une part et des phases de décroissance d'autre part, s'harmonise parfaitement avec les interprétations qui viennent d'être fournies pour les unes et les autres (fig. 22). Autant les abaissements de la salinité, qui dépendent de phénomènes brusques et discontinus (fortes pluies) ont un tracé irrégulier, en cascades, autant les phases de croissance qui sont assurées par des apports discrets mais sans cesse répétés d'eau de mer, ont une allure régulière et uniforme.

Une dernière remarque doit être faite également au sujet des phases de croissance. Etant donné l'élévation totale annuelle des salinités, on peut se demander si elle est compatible avec ce qui a été dit sur le peu de profondeur et la faiblesse des courants que présente le grau de Leucate en été.

On calculerait que pour provoquer une hausse de 1 g Cl/l par mois (ce qui donnerait approximativement 9 g $\%$ de salinité en cinq mois, ordre de grandeur des hausses annuelles) dans une

masse d'eau de 100 millions de m^3 , il faut un apport de 5 millions de m^3 d'eaux marines à 20 g Cl/l, volume qui correspond à un débit moyen d'à peu près 2 m^3/s .

En admettant que les entrées, de la mer vers l'étang, ne s'effectuent que pendant la moitié du temps, le débit devra donc être de 4 m^3/s . Or il suffit pour cela que l'eau dans le grau ait une profondeur de 50 cm et circule à 0,33 m/s (soit une vitesse d'à peine 1 200 m à l'heure).

Ces valeurs, données à titre de repères concrets, montrent que les effets observés sont conciliables avec des phénomènes d'écoulement d'apparence très modeste, tels qu'on les observe dans la réalité.

2° Interprétation des différences de salinités entre les diverses années.

Les différences que présentent les salinités selon les années constituent un autre type de variations extrêmement important qui doit être expliqué.

Rappelons que les années peuvent être classées en trois catégories en fonction des salinités observées: les années où les salinités se sont maintenues entre 20 et 30 ‰, celles où elles ont oscillé entre 15 et 25 ‰, et une année (1963) où elles sont demeurées entre 10 et 20 ‰ (fig. 24).

Naturellement la première démarche, pour essayer d'expliquer de telles différences, consiste à rechercher une correspondance éventuelle entre les salinités qui caractérisent une année et le total annuel des pluies de l'année considérée.

Les données portées sur la figure 37 pour quatre années montrent déjà qu'en réalité une telle corrélation n'existe pas. Il suffit de mentionner par exemple que l'année 1963, dont les salinités furent les plus faibles, reçut moins de pluies que les deux années qui l'encadrent. On vérifierait la même absence de correspondance pour plusieurs des années antérieures.

En revanche, si pour caractériser une année donnée on fait le total des précipitations de cette année-là et de l'année précédente, on obtient une bonne correspondance avec la classification des années basée sur leurs salinités; autrement dit les valeurs de la salinité d'une année semblent dépendre autant des pluies de l'année précédente que de celles de l'année considérée.

Une telle relation conduirait facilement à penser que l'écoulement des eaux continentales est soumis à des phénomènes de régulation à très longue portée. Il va sans dire que cette conception contredit absolument ce qui a été vu sur le régime du débit des résurgences et s'accorde mal avec l'interprétation des deux phases du cycle telle qu'elle a été exposée précédemment.

En réalité cette influence des pluies d'une année sur les salinités de l'année suivante a une explication plus simple qui s'harmonise parfaitement avec ce qui a été dit antérieurement.

Pour le comprendre, il faut revenir en premier lieu sur le fait déjà signalé que les phases de croissance des salinités ont une allure beaucoup plus régulière que les phases de décroissance.

Un examen chiffré des données de toutes les années ne fait que confirmer cette impression donnée par les graphiques. Cette étude montre que l'élévation moyenne mensuelle présente une constance remarquable quelles que soient les années; cette hausse est en moyenne de 1,3 ‰ par mois et l'ensemble des données mensuelles n'oscillent qu'entre 1,1 et 1,5 ‰ (à une ou deux exceptions près).

Il convient de remarquer qu'une telle constance du taux de croissance mensuelle est un argument supplémentaire contre l'idée que le débit des résurgences pourrait être beaucoup plus élevé pendant certaines années et contribuer ainsi à réduire le total de la hausse des salinités ces années-là.

Cela dit, puisque le taux d'élévation mensuel est à peu près constant pendant la période de croissance, il en résulte d'une part que le total de la hausse des salinités au cours d'une année dépend essentiellement de la durée pendant laquelle la croissance pourra s'exercer et d'autre part que le maximum qui sera atteint par les salinités dépend de la valeur absolue qui existait au moment où la croissance s'est amorcée.

Un examen de la figure 37 permet d'illustrer et de vérifier ces observations. C'est ainsi qu'en 1963, par exemple, la croissance des salinités s'étant étalée sur 6 mois a donné une élévation normale de 8 ‰; mais malgré cela le maximum atteint n'est que de 20 ‰ du fait que les teneurs n'étaient que de 12 ‰ au départ de la phase; en 1961, en une durée de 7 mois, la hausse totale a été de 9,5 ‰, mais, malgré la faible différence avec l'année 1963 sur ce point, les salinités maxima ont

presque atteint 29 ‰, la phase de croissance étant partie de 19 ‰. En 1962, bien que la croissance ait démarré à partir de salinités relativement élevées (égales à celles de 1961), le maximum n'a que faiblement dépassé 25 ‰ parce que la phase de croissance a été exceptionnellement courte.

L'examen de toutes les autres courbes de la salinité montrerait avec la même évidence que le maximum atteint chaque année par les salinités dépend à la fois des valeurs minimales qui précèdent la phase de croissance et de la durée de cette phase.

En définitive, les salinités de chacune des années étant caractérisées essentiellement par leur maximum et leur minimum, pour expliquer les différences entre les années, il faut donc rechercher les causes qui commandent, et la durée des phases de croissance et les valeurs minimales atteintes à la fin de l'hiver ou au début du printemps.

En fait la réponse est déjà entièrement contenue dans l'interprétation des cycles de la salinité : les deux caractères mentionnés dépendent totalement du nombre et de l'échéance des fortes pluies.

La durée de la phase de croissance est en effet commandée par l'échéance des deux fortes pluies qui encadrent la période où les salinités croissent. Quant à la valeur absolue des salinités minimales qui est atteinte à la fin de chaque phase de décroissance, elle dépend du nombre des fortes et brusques précipitations qui surviennent au cours de la saison des pluies et en particulier de celles qui ont lieu au cours de l'automne et du début de l'hiver de l'année qui précède la remontée des salinités. C'est cela qui explique que les pluies d'une année exercent effectivement une influence sur les salinités de l'année qui suit.

Finalement, du nombre et de l'importance des fortes pluies, ainsi que de l'échéance de la première et de la dernière d'entre elles au cours de chaque saison pluvieuse, dépendent, directement ou indirectement, les valeurs minimales et maximales qui caractérisent les salinités de chacune des années. En définitive, si les années sont différentes entre elles sur le plan des salinités, c'est que le nombre et l'échéance des fortes pluies sont très variables selon les années.

3°) Interprétation de l'infériorité permanente des salinités de l'étang relativement à celles de la mer. Influence du nouveau grau.

Les salinités observées dans l'étang de Salses-Leucate, avant l'ouverture du grau St-Ange, étaient caractérisées par leur infériorité sensible et permanente par rapport aux salinités marines. Cet état de chose était dû au fait que d'importants déversements d'eau continentale se faisaient dans une cuvette où les possibilités d'échanges avec la mer étaient très réduites.

Une remarque doit être faite à nouveau en ce qui touche l'influence des apports continentaux : si celle-ci est évidente pendant la phase de décroissance, il convient de souligner qu'elle s'exerce aussi pendant la belle saison. Le fait que le volume évaporé peut être égal au volume déversé n'autorise pas à considérer le rôle de tels apports comme nul. Il a été souligné que l'effet de dessalure qu'ils produiraient, s'il n'y avait l'évaporation, se trouve annulé par celle-ci ; mais, en s'exprimant d'un autre point de vue, on peut tout aussi bien dire que la hausse des salinités, que provoquerait l'évaporation s'il n'y avait ces écoulements, se trouve annihilée par ceux-ci. Les apports continentaux, même en été, contribuent donc à réduire les croissances de la salinité.

Quant à l'influence qui relevait de la faible capacité du seul grau de Leucate, elle est mise en évidence par le constat des changements observés en 1966 et 1967, après le creusement du nouveau grau St-Ange (fig. 23). En favorisant la rétention des eaux douces et en limitant les entrées d'eaux marines, cette faible communication maintenait les salinités toujours très inférieures aux salinités marines. Toujours est-il qu'en 1966 et 1967, contrairement à ce qu'on observe au cours des années antérieures, les proportions de l'eau de mer représentent en toutes saisons beaucoup plus de 50 % du mélange : les salinités maximales deviennent infiniment plus voisines des teneurs marines qu'elles ne l'avaient jamais été jusque-là.

Le bouleversement du mécanisme des échanges, provoqué par le nouveau grau, est particulièrement évident quand on considère la phase de croissance des salinités, d'octobre 1965 à septembre 1966.

La figure 42 permet de suivre les étapes de cette remontée qui modifie complètement les schémas antérieurs. L'achèvement du nouveau grau a pratiquement coïncidé avec les énormes pluies d'octobre 1965 qui avaient abaissé les salinités au-dessous de 10 ‰. Etant donnée cette chute automnale,

au vu des pluies qui tombèrent pendant les six mois qui suivirent, il est possible d'affirmer que, dans l'ancien état de choses, les salinités maximales en 1966 seraient demeurées inférieures à 20 ‰. En fait, elles ont atteint 34 ‰, effectuant une remontée totale de presque 25 ‰. Ce qui est le plus frappant, c'est qu'une part notable de cette élévation s'est effectuée en hiver, fait sans précédent ; de novembre 1965 à la fin de février 1966, la hausse de la salinité atteint presque 14 ‰ ; un mois après la fin des pluies, on enregistrait déjà une remontée d'environ 4 ‰.

Ces observations montrent à quel point le nouveau grau a bouleversé les mécanismes traditionnels des échanges.

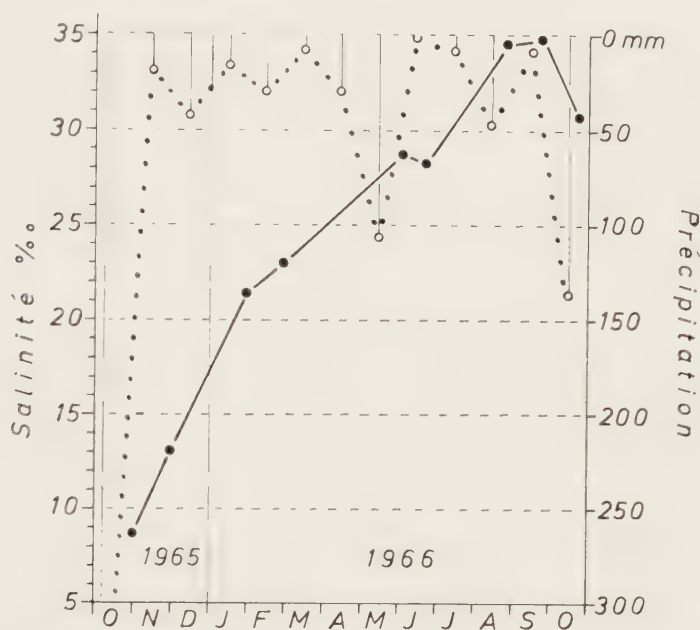


Fig. 42. — La phase de croissance des salinités aussitôt après l'achèvement du grau St Ange. Il est remarquable que la plus grande partie de la croissance s'est faite en automne et en hiver. Ensuite la lagune s'étant établie dans sa nouvelle échelle de salinités, elle subit l'effet des fortes pluies comme par le passé.

On constate qu'un abaissement, d'un mètre environ, du seuil de communication entre les deux vases communicants, a créé des conditions d'échanges tels que l'étang doit s'établir inéluctablement dans un nouveau registre de salinités sensiblement supérieures à ce qu'elles étaient antérieurement, et ceci quelle que soit l'importance des apports continentaux.

D'un autre côté, la courbe des salinités de 1967 (fig. 23) montre que, l'étang une fois établi dans ce nouveau registre de salinités, les causes qui provoquent les variations agissent de la même façon et avec la même ampleur qu'auparavant. Le cycle de 1967 est tout à fait comparable à ceux des années antérieures au nouveau grau ; la seule différence est qu'il se situe, pour ainsi dire, à une octave supérieure dans l'échelle des salinités.

Certes, au vu des données qui ne portent que sur deux années, il n'est pas encore possible de tirer des lois définitives et précises définissant quelles seront les caractéristiques nouvelles de l'hydrologie de la lagune. Néanmoins, d'ores et déjà il semble certain que les salinités demeureront toujours très supérieures à ce qu'elles étaient antérieurement, tout en subissant des variations annuelles du même ordre de grandeur. Il est très probable également que, tout en se rapprochant beaucoup des salinités marines, les teneurs en sels demeureront toujours inférieures à celles de la mer du fait des écoulements permanents d'eau continentale.

CHAPITRE VII

INTERPRETATION DES PRINCIPALES HÉTÉROGÉNÉITÉS LOCALES DES SALINITÉS

L'interprétation des variations de salinités qui vient d'être exposée traite les eaux de l'étang comme si elles formaient un mélange homogène, présentant la même concentration dans toutes ses parties, mais le chapitre descriptif a montré que telle n'était pas la réalité.

Parmi les hétérogénéités décrites précédemment, la plus constante consiste en une décroissance des salinités du nord de l'étang vers le sud ; il en résulte que le bassin de Leucate a toujours des caractères moyens plus marins que celui de Salses. En second lieu, l'examen des hétérogénéités a montré que très généralement la partie nord de l'étang, correspondant au bassin de Leucate, était chimiquement moins homogène que la partie sud, c'est-à-dire que le bassin de Salses ; néanmoins il s'agit là d'une règle qui n'est pas absolue et qui comporte des exceptions.

Il est évident que si l'interprétation des variations moyennes de l'étang exposée précédemment est juste, l'examen des hétérogénéités ne peut que préciser la vue d'ensemble qu'elle présente, en éclairant plus en détail la façon dont s'effectuent les variations. En conséquence, ce qui suit doit être considéré comme un simple complément du chapitre précédent.

A. - Différences moyennes entre le bassin de Leucate et celui de Salses.

1°) Précisions sur cette hétérogénéité.

Quelles que soient les saisons et les années, y compris celles qui sont postérieures au nouveau grau, lequel débouche pourtant dans le sud-est du bassin de Salses, les observations faites le même jour indiquent constamment que le bassin de Leucate, au nord, représente une masse d'eau plus salée que le bassin de Salses, au sud ; cette différence demeure, même si pour ce dernier bassin on exclut les données de la zone voisine du débouché des résurgences.

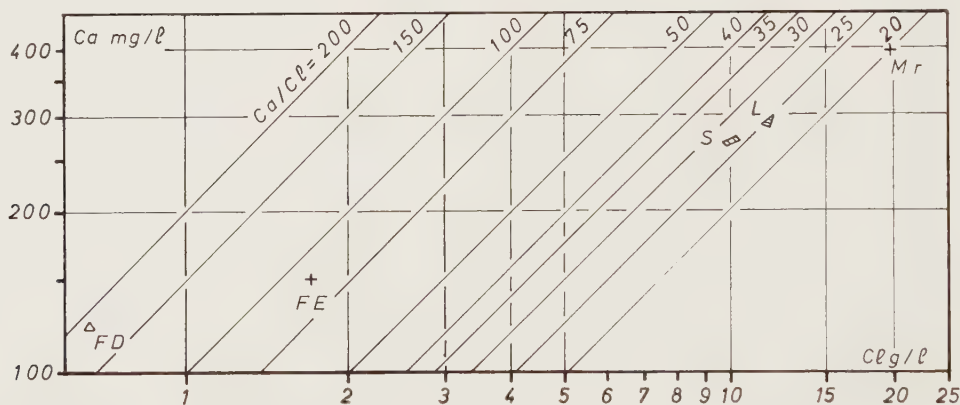


FIG. 43. — Valeurs moyennes des teneurs en Ca et en Cl et situation relative des rapports Ca/Cl pour les différentes eaux impliquées dans le système de l'étang de Salses-Leucate. De gauche à droite : FD : Font Dame ; FE : Font Estramer ; S : bassin de Salses ; L : bassin de Leucate ; Mr : mer-rivage. N. B. Les valeurs du rapport Ca/Cl correspondent à 1000 Ca/Cl.

Plusieurs graphiques présentés antérieurement indiquaient cet état de choses (fig. 25, 26, 27 et 29). La figure 43 inspirée des graphiques iso-allométriques mis au point par HUXLEY et TESSIER (1936), met bien en évidence la différence moyenne qui sépare les deux bassins, tout en les situant par rapport aux eaux continentales et à la mer (chaque ligne oblique est le lieu géométrique de tous les points qui se coordonnent selon un même rapport Ca/Cl ; autrement dit, chacune concrétise l'iso-métrie parfaite).

Sur le graphique, les deux petites surfaces hachurées indiquent approximativement les limites à l'intérieur desquelles se situeraient les moyennes des teneurs en Ca et Cl des stations du bassin de Salses (quadrilatère S) et celles des stations du bassin de Leucate (triangle L). Ainsi apparaît clairement, en ce qui touche les valeurs absolues en chlore et en calcium ainsi que le rapport de ces deux ions, que les deux cuvettes de l'étang ont des caractères franchement séparés ; on remar-

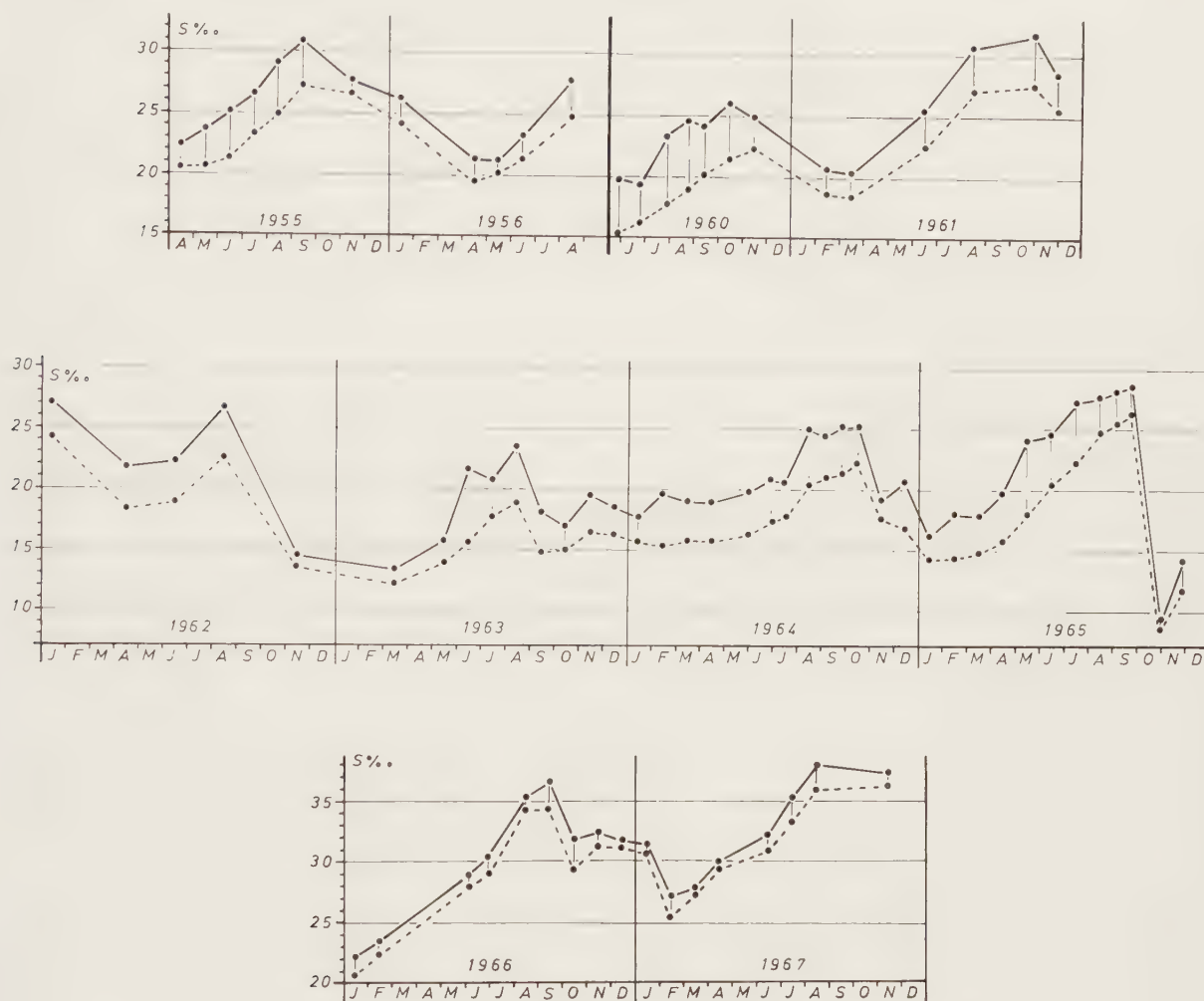


FIG. 44. — Salinités moyennes de chacun des deux bassins proprement dits. Courbe supérieure en trait plein : bassin de Leucate (st. 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 19) ; courbe inférieure, en tirets : bassin de Salses (st. 1, 2, 11, 13, 14, 15, 16 et 17).

que toutefois qu'elles sont encore plus proches l'une de l'autre qu'elles ne le sont de la mer et surtout des eaux continentales ; toutefois celle de Leucate est plus voisine des données marines et celle de Salses au contraire se rapproche davantage des eaux continentales.

Pour un examen plus détaillé de ces différences entre les deux cuvettes, la figure 44 présente l'ensemble des observations journalières avec les écarts qui séparent les moyennes des salinités du bassin de Leucate de celles du bassin de Salses proprement dit (st. 12 et 18 exclues ainsi que les st. intermédiaires 3 et 10). On constate bien que la supériorité des salinités du premier par rapport au second ne présente absolument aucune exception.

2°) Les causes fondamentales de cette hétérogénéité.

Il est bien évident que l'hétérogénéité présentée par les deux bassins s'explique par une autre hétérogénéité, celle du contexte géographique où chacune des deux cuvettes se trouve insérée ; la position diamétralement opposée qu'elles occupent, relativement aux voies d'apports des eaux-mères du mélange lagunaire, est à l'origine des différences observées. Le bassin de Salses constitue par excellence la zone de réception des eaux continentales pour l'étang. En revanche, le bassin de Leucate échappe à l'influence directe des eaux continentales et au contraire il était seul, jusqu'à la fin de 1965, à être en communication avec la mer. La situation peut être concrétisée par un schéma comme celui que présente la figure 45.

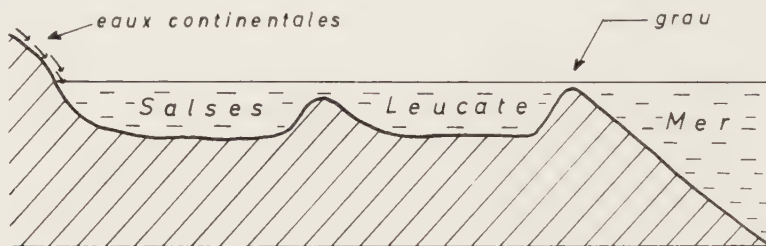


FIG. 45. — Vue schématique de l'étang de Salses-Leucate dans ses rapports avec les eaux continentales et avec la mer.

Il est bien connu que si deux solutions, mises en présence dans un même récipient, tendent à réaliser un mélange homogène par diffusion, cette opération est loin d'être instantanée ; l'observation de masses d'eaux qui gardent leurs caractères physico-chimiques propres au sein d'une même mer est un exemple classique de ce fait (FURNESTIN, 1960, pour la Méditerranée occidentale).

Bien entendu, dans une masse d'eau aussi restreinte que l'étang, le mélange n'est pas assuré par la seule diffusion moléculaire ; c'est une masse soumise et aux courants de convection et à des vents qui la mobilisent jusqu'en ses couches les plus profondes. Du fait même, il n'est pas douteux que, s'il s'agissait d'un milieu fermé, une homogénéisation complète finirait par s'établir assez rapidement. En réalité, si l'hétérogénéité se maintient, c'est qu'elle est sans cesse entretenue par des apports extérieurs d'eaux à caractères contrastés.

Dans un tel système, où les points de déversement de chacune des deux eaux sont distants de presque 10 km, il est tout à fait logique que des contrôles de salinité effectués le même jour indiquent que le pourcentage des eaux continentales soit plus élevé dans le bassin où elles se déversent, que dans celui qui ne les reçoit pas directement et qui, en revanche, est en communication avec les eaux marines.

3°) Variations de cette hétérogénéité, avant 1966, et interprétation.

Les causes fondamentales de l'hétérogénéité permanente étant dégagées, l'attention doit être attirée en contrepartie sur le fait que les eaux des deux bassins tendent toujours à s'homogénéiser ; l'influence propre à chacune des deux eaux, influence dont les effets atteignent d'abord l'un ou l'autre bassin, finit toujours par gagner l'ensemble de la lagune en un temps plus ou moins long. C'est un aspect des phénomènes qui ressort également de l'examen de la figure 44.

Il apparaît clairement que les salinités des deux cuvettes varient presque toujours dans le même sens. Autrement dit, pendant la phase de salinité croissante par exemple, le bassin de Salses, tout en restant pour ainsi dire à la traîne par rapport à celui de Leucate, se hausse néanmoins, peu à peu, avec un décalage dans le temps, au niveau des salinités que Leucate avait franchi antérieurement ; de même, en phase de décroissance, les salinités de Leucate, tout en demeurant toujours plus élevées au même moment, repassent avec retard par les valeurs décroissantes atteintes plus tôt par les eaux du bassin de Salses.

Un examen attentif des décalages entre les deux bassins peut apporter des informations sur la façon dont s'opère le mélange et préciser certains points de l'interprétation générale des variations de salinité présentée antérieurement.

Les courbes présentées par la figure 44 indiquent par exemple que dans les phases de salinités croissantes, les valeurs observées dans le bassin de Leucate au début de la phase ne sont jamais

atteintes ou dépassées par celles de Salses dès le mois qui suit ; elles n'y parviennent qu'au bout de deux ou trois mois. Au contraire, on observe que, pendant les phases de décroissance d'automne et d'hiver, il n'est pas rare qu'au bout d'un mois la salinité de Leucate se soit déjà abaissée au-dessous de la valeur qu'atteignait le bassin de Salses le mois précédent (août à septembre 1963, octobre à novembre 1964 ; décembre 1964 à janvier 1965, etc.). En fait cette plus ou moins grande rapidité dans le rattrapage va naturellement de pair avec l'importance en valeur absolue de la variation des salinités, c'est-à-dire avec l'abondance des apports extérieurs.

Pour interpréter les divers aspects des décalages, trois cas peuvent être envisagés.

a) Chutes brusques et importantes des salinités. C'est dans ces circonstances, uniquement, que la salinité du bassin de Leucate subit une décroissance supérieure à l'écart qui séparait les deux bassins au cours du mois précédent. Or, on le sait, ces décroissances brusques, observées pendant la mauvaise saison, correspondent toujours à des apports massifs d'eau continentale dans l'étang, apports consécutifs aux « fortes précipitations ».

Si donc la dessalure atteint rapidement le bassin de Leucate, c'est que le volume d'eau déversé dans le sud est tel qu'il provoque une hausse sensible du niveau de l'étang ; cette hausse tend par elle-même à créer une surpression et donc des courants qui permettront une sortie massive en mer par le grau.

Dans ce cas, la rapidité de propagation des effets de dessalure du sud vers le nord s'explique naturellement à la fois par l'importance des apports d'eaux continentales et par le fait que la seule voie d'évacuation du trop plein ainsi créé passe par le bassin de Leucate.

On constate que généralement, dans ces conditions, l'amplitude de la décroissance de salinité dans le bassin de Leucate est souvent supérieure à celle observée dans le bassin de Salses. Ce phénomène d'apparence paradoxale tient simplement au fait que, au départ de la chute, les teneurs en sels dans le premier étaient plus élevées que dans le second et que le brassage des eaux a été suffisant pour que les salinités les plus élevées soient relativement plus affectées.

b) Hausses des salinités avec variation discordante entre les deux bassins. La figure 44 présente quelques exemples où le parallélisme approximatif des deux courbes est franchement rompu ; la pente d'élévation est sensiblement plus accentuée pour le bassin de Leucate que pour celui de Salses ; c'est ce qu'on observe aux mois de juin et d'août 1963, en février et août 1964 et en mai 1965.

Il est remarquable que dans tous ces cas, si l'élévation de salinité observée au cours du mois considéré est sensiblement plus forte dans le bassin de Leucate que dans le bassin de Salses, en revanche on enregistre le phénomène inverse pendant le mois suivant : la salinité de Leucate apparaît diminuée ou très faiblement augmentée tandis que celle de Salses s'est franchement élevée. Les observations de juin et juillet 1963, qui présentent cette succession de phénomènes de façon particulièrement accentuée, peuvent servir à l'interprétation de tous ces cas (fig. 46).

En premier lieu, le fait même d'une forte élévation de salinité dans le bassin de Leucate indique que des entrées d'eaux marines importantes ont eu lieu pendant cette période. En second lieu, l'augmentation considérable de l'hétérogénéité entre les deux bassins vient surtout de ce que la diffusion des eaux marines entrées dans le bassin de Leucate, vers le sud, était encore loin d'être réalisée au moment des observations.

Sur ce point il convient de remarquer qu'une variation importante de la salinité, dans le sens de l'élévation, ne fait jamais sentir ses effets, à l'ensemble de l'étang, aussi vite qu'une variation décroissante égale. Sous ce rapport il suffit de vérifier la variation croissante de mai à juin 1963 avec la variation décroissante d'août à septembre de la même année. Cette différence de rapidité, entre la propagation des eaux marines du nord vers le sud et celle des eaux continentales du sud vers le nord, n'est pas surprenante ; elle est tout à fait conforme à ce que l'on peut attendre de l'agencement du système — eaux continentale-mer-étang — que présente schématiquement la figure 45. Tout apport d'eaux tant soit peu important, qu'elles soient marines ou continentales, susceptible de créer une surpression dans la lagune, tend à s'évacuer en mer par le grau de Leucate. On peut dire que sous cet aspect, la direction du sud vers le nord est un sens privilégié pour la propagation des eaux.

Ces diverses considérations paraissent très suffisantes pour expliquer les augmentations sensibles d'hétérogénéités qui ont été signalées.

Il est d'ailleurs remarquable que le fort accroissement d'hétérogénéité entre les deux bassins,

observé en juin, est suivi, en juillet, d'une variation inverse qui tend à la réduire ; il a été signalé que ce phénomène s'observe plus ou moins nettement chaque fois que le bassin de Leucate a rompu fortement le parallélisme des courbes par une élévation de salinité sensiblement plus forte que celle observée dans le bassin de Salses.

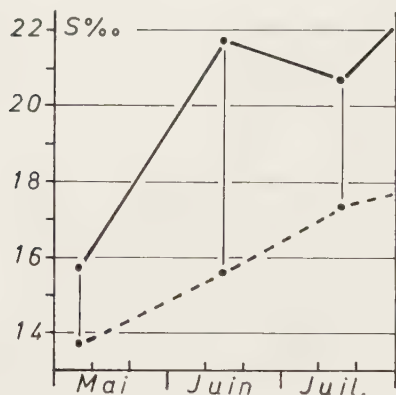


FIG. 46. — Détail des variations discordantes des salinités de mai à juillet 1963 (trait plein : bassin de Leucate ; tirets : bassin de Salses).

La convergence des salinités qui apparaît le mois suivant ne fait que traduire l'influence réciproque que les deux bassins exercent l'un sur l'autre ; cette influence tend à recréer l'écart de salinité qu'on observe quand les facteurs de croissance cessent d'agir de façon exceptionnelle. Pour l'essentiel, tout se passe comme si chacun des deux bassins avait opéré un échange partiel de ses eaux avec l'autre pendant l'intervalle qui sépare les observations de juin et celles de juillet ; une partie des eaux salées du nord est passée au sud contribuant à relever les salinités ; inversement les eaux de Salses qui sont passées au nord ont provoqué un abaissement des teneurs en sels.

c) Variations (de croissance ou de décroissance) moyennes et concordantes. Ce troisième cas englobe l'ensemble des variations que l'on peut qualifier de normales ou d'habituelles par opposition aux deux éventualités examinées précédemment ; elles n'appellent pas de longs commentaires.

Il s'agit de variations qui ne sont pas très importantes d'un mois à l'autre ; elles demeurent sub-parallèles pour les deux bassins et de plus, qu'il s'agisse de croissance ou de décroissance, plusieurs mois sont toujours nécessaires pour que la salinité d'un bassin rejoigne la valeur qui régnait dans l'autre précédemment.

Ces variations correspondent aux périodes pendant lesquelles les facteurs qui influencent les salinités demeurent dans les normes habituelles.

La seule différence qui apparaisse, entre les phases de croissance et les phases de décroissance des salinités, réside dans le fait que, pendant les premières, l'hétérogénéité entre les deux bassins tend toujours à être plus forte qu'au cours des secondes (fig. 44). Les éléments d'interprétation en ont déjà été fournis précédemment à propos des facilités d'échanges comparées, du nord vers le sud et vice versa ; dans ces cas, le fait que l'évaporation puisse avoir des effets plus marqués dans le bassin de Leucate que dans celui de Salses contribue sans doute aussi pour une part à accroître l'écart entre les deux bassins pendant la belle saison.

4°) Hétérogénéités en 1966 et 1967. Influence du nouveau grau.

Les principaux traits concernant l'hétérogénéité entre les deux bassins pendant les années 1966 et 1967, après l'ouverture du grau St-Ange, sont les suivants. Le bassin de Leucate continue à être constamment plus salé que celui de Salses, mais l'hétérogénéité entre les deux bassins est moins forte et plus constante (la moyenne des écarts est de 1,4‰ seulement et les variations oscillent entre 0,3 et 2,9‰). Ces divers caractères apparaissent clairement en comparant les graphiques des années 1966 et 1967 avec ceux des années antérieures (fig. 44).

Ces diverses modifications doivent s'expliquer nécessairement par le fait que l'ouverture d'un deuxième grau accroît les possibilités d'échanges entre la mer et la lagune et ceci dans un sens comme dans l'autre.

Pendant la belle saison, quand les conditions sont favorables à l'entrée des eaux marines, si les écarts entre les deux cuvettes sont moins importants que par le passé, c'est que désormais les deux bassins peuvent simultanément recevoir directement des eaux de la mer ; ainsi le bassin de Salses n'est plus totalement tributaire de la diffusion des eaux plus salées venant du bassin de Leucate pour l'accroissement de ses salinités.

Pendant les phases de décroissance, si les abaissements brusques dus aux fortes pluies, comme en octobre 1966 et en février 1967, ne créent plus une sensible homogénéisation entre les deux bas-

sins, c'est que la masse d'eau continentale déversée dans l'étang n'est plus obligée d'envahir totalement le bassin de Leucate pour être évacuée en mer ; deux issues lui sont offertes.

Si enfin les salinités du bassin de Leucate demeurent cependant toujours supérieures à celles du bassin de Salses c'est que ce dernier seul continue à servir directement de cuvette de réception pour les eaux continentales.

Ainsi l'examen des principaux caractères que présente l'hétérogénéité moyenne entre les deux bassins permet de mieux comprendre certains aspects du jeu des facteurs qui créent les variations de salinité dans l'étang. L'étude plus détaillée des hétérogénéités entre stations situées selon l'axe nord-sud va servir de complément à cette interprétation.

B. - Les principales hétérogénéités entre les divers points de l'étang.

Les différences de salinités entre les deux bassins, telles qu'elles viennent d'être étudiées et interprétées, étaient établies sur des moyennes ; cela suffit pour donner l'essentiel de l'interprétation des principales hétérogénéités. Néanmoins, il peut être utile d'apporter quelques données complémentaires, sur le détail des hétérogénéités, présentées sous forme d'illustrations commentées.

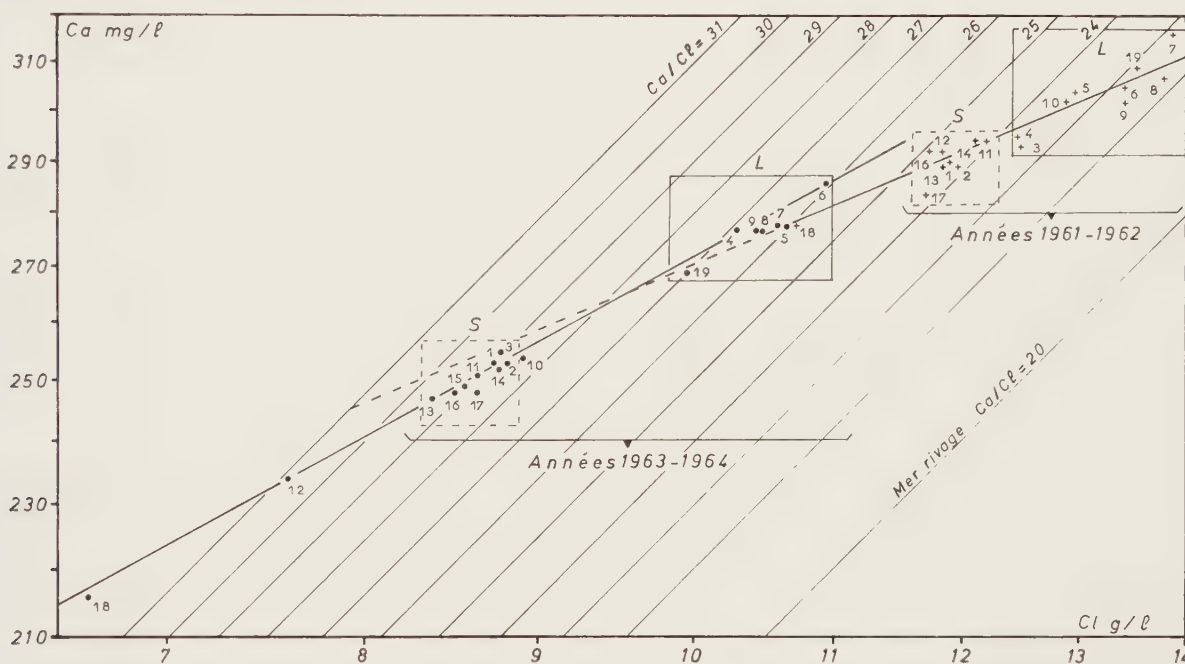


FIG. 47. — Graphique iso-allométrique, permettant de voir l'hétérogénéité moyenne qui règne dans chaque bassin quant aux teneurs en Cl, en Ca et à la position du rapport Ca/Cl de chaque station et ce, pour deux groupes d'années contrastées. Les lettres S et L désignent respectivement le bassin de Salses et le bassin de Leucate. N.B. Les valeurs du rapport Ca/Cl correspondent à 1 000 Ca/Cl .

Elles permettront de voir plus concrètement comment s'exerce le jeu des facteurs d'hétérogénéisation et d'homogénéisation invoqués.

D'abord, une image de l'hétérogénéité d'ensemble qui règne entre les différentes stations sera présentée, et seulement sur les moyennes de deux catégories d'années ; pour le reste, le sujet sera traité en ne retenant que les hétérogénéités les plus marquantes et les plus typiques, celles qui existent entre les stations situées selon l'axe nord-sud de l'étang.

1°) Hétérogénéités moyennes entre les stations de chaque bassin.

Une figure donnera une idée de la répartition des hétérogénéités moyennes entre les deux bassins et entre les diverses stations (fig. 47). Il s'agit d'un graphique iso-allométrique du même type que la figure 43. Etabli à une échelle beaucoup plus étalée, il permet de porter les valeurs moyennes

de chacune des stations ; ainsi il est possible d'apprécier leur dispersion, en fonction de leurs teneurs en Cl et en Ca, et aussi de voir comment elles se situent dans l'échelle des rapports Ca/Cl.

Les valeurs moyennes portées ont été scindées en deux groupes correspondant à deux catégories d'années : années à salinités relativement fortes (1961-1962) et années à salinités relativement faibles (1963-1964).

Bien entendu on doit se rappeler que le degré de précision, en ce qui concerne les évaluations du calcium, ne permet pas d'attacher toujours une trop grande rigueur à la position des stations les unes par rapport aux autres ; néanmoins cette précision est cependant suffisante pour que les caractères généraux des hétérogénéités apparaissent très clairement.

On remarque que pour les deux catégories d'années, le bassin de Leucate est à la fois plus marin et plus hétérogène que celui de Salses. De plus il apparaît clairement qu'en moyenne, pendant les années à faibles salinités (1963-1964), les deux bassins sont très éloignés l'un de l'autre ; sur ce point la figure met bien en relief à quel point des eaux continentales plus abondantes exercent une influence beaucoup plus forte sur le bassin de Salses que sur celui de Leucate. Inversement, pendant les années à salinités élevées, les deux bassins, tout en restant séparés, se trouvent beaucoup plus rapprochés l'un de l'autre ; ceci témoigne du fait que l'influence des eaux continentales étant moins forte, les eaux marines peuvent beaucoup plus facilement faire sentir leurs effets sur le bassin de Salses.

2°) Les hétérogénéités entre les stations situées selon l'axe nord-sud.

Pour étudier plus en détail l'allure des principales hétérogénéités, celles qui s'observent entre les stations situées selon l'axe nord-sud de l'étang, des coupes analogues à celles que présentent les figures 26, 28 et 29 ont été établies pour chacune des 42 journées où toutes les stations, ou presque, furent contrôlées ; quelques-unes vont être commentées.

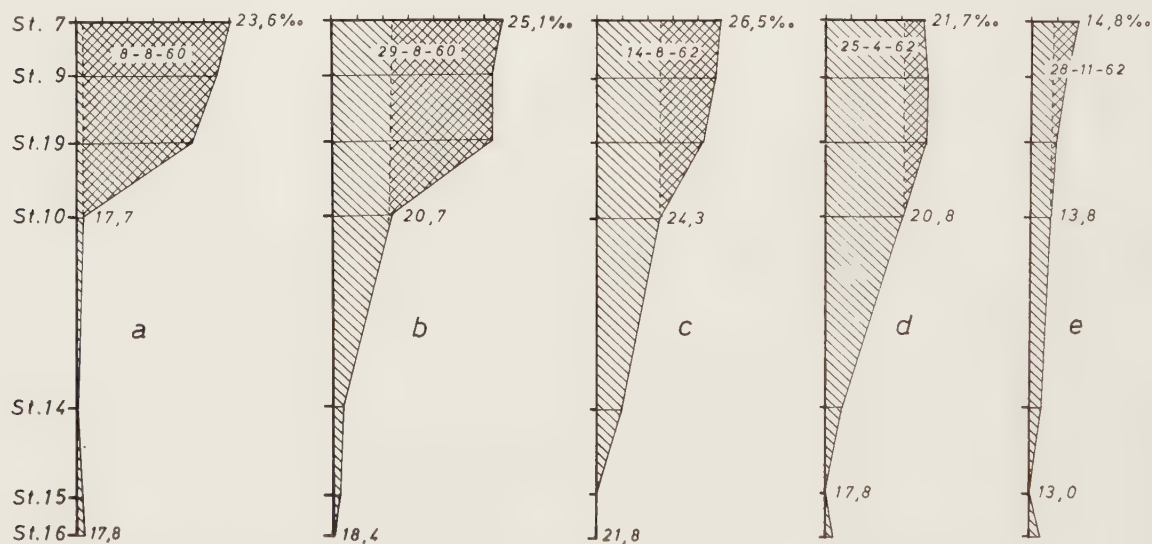


FIG. 48. — Série de 5 profils nord-sud d'hétérogénéités illustrant la plupart des cas observés.

La figure 48 présente cinq coupes illustrant, à quelques détails près, tous les types d'hétérogénéités qui s'observent, plus ou moins souvent, parmi les 42 journées d'observations.

En ce qui touche l'hétérogénéité totale, de l'extrême nord à l'extrême sud, les cinq coupes offrent une certaine gradation de la gauche vers la droite ; sur les coupes a et b on observe une hétérogénéité qui dépasse 5‰ ; sur les deux suivantes elle est voisine de 4‰ ; sur la dernière elle atteint tout juste 2‰.

La série permet donc de voir l'allure des salinités, depuis les états les plus contrastés jusqu'aux cas où l'homogénéisation est la plus poussée ; il est possible de suivre sur ces coupes le processus de l'homogénéisation.

La figure 48a présente un cas où, de part et d'autre de la station intermédiaire 10, les deux bassins apparaissent comme deux unités complètement séparées, avec chacune leur propre salinité. Sur les 42 coupes, il en existe à peu près une dizaine de ce type ; toutes s'observent pour des journées de contrôle se situant au cours de périodes relativement sèches et où les salinités moyennes sont en hausse sensible par rapport au mois précédent.

Ces images indiquent manifestement que le contrôle s'est effectué à la suite d'entrées importantes d'eaux marines ; de plus, le fait que la station 10 se rattache chimiquement au bassin de Salses montre que ces eaux marines sont restées confinées dans la cuvette de Leucate.

La figure 48b représente l'état de choses trois semaines plus tard. Les quelques valeurs de la salinité indiquées montrent que les apports d'eau de mer ont continué à se faire, contribuant à maintenir une forte hétérogénéité dans le bassin de Leucate ; mais aussi, et surtout, la coupe indique que les eaux marines ont rehaussé sensiblement la salinité de la station 10 et le nord du bassin de Salses, alors qu'elles n'ont pas beaucoup affecté le sud de l'étang. De ce fait l'hétérogénéité de la cuvette méridionale s'est accrue. Il faut ajouter que les coupes du type 48a sont presque toujours suivies dans le mois qui suit par des coupes plus ou moins analogues au type 48b.

Ces deux cas soulignent concrètement ce qui a été dit précédemment quant à la difficulté éprouvée par les eaux marines pour se répandre vers le sud de l'étang.

Les figures 48c et 48d présentent des états où l'hétérogénéité totale, du nord au sud, est atténuée par rapport aux cas précédents et ce, par réduction de l'hétérogénéité propre au bassin de Leucate et maintien ou léger accroissement de l'hétérogénéité du bassin de Salses.

Il convient de noter qu'une progression de cette sorte vers l'homogénéisation peut s'observer aussi bien au cours de la phase de croissance des salinités qu'à la suite d'une forte pluie ; les coupes 48c et 48d illustrent précisément cette remarque.

Le cas présenté par la coupe 48c a été observé à la fin de la phase de croissance de l'année 1962, à l'issue d'une période très sèche de deux à trois mois ; on voit que l'hétérogénéité de la cuvette de Salses tient encore au fait que les eaux marines influencent la partie nord du bassin beaucoup plus fortement que l'extrême sud. Si le bassin de Leucate est moins hétérogène que dans les exemples qui précèdent (48a et b) cela vient de ce que, dans les jours qui ont précédé le contrôle, les entrées d'eau de mer ont sans doute été moins abondantes.

La coupe 48d au contraire correspond à un contrôle opéré quelques jours après une chute rapide de 106 mm de pluie. Dans de tels cas, la salinité des deux bassins subit une chute suffisamment importante pour que même celle de la cuvette de Leucate descende au-dessous de la concentration qui existait du côté de Salses le mois précédent ; c'est indiscutablement que les eaux continentales se répandent de façon relativement rapide jusque dans le nord de l'étang. Cela dit, il est non moins certain que si les fortes pluies surviennent à un moment où l'hétérogénéité totale est forte, l'abaissement général des salinités ne provoque pas un bouleversement complet du profil nord-sud des hétérogénéités. Quelques coupes, analogues à celle de la figure 48d, montrent que l'hétérogénéité totale demeure importante ; autrement dit, en valeur absolue, la dilution est à peu près la même aux diverses stations, si bien que les gradients de décroissance ne sont pas profondément modifiés. C'est un témoignage supplémentaire pour indiquer qu'un état d'hétérogénéité s'étant établi, il ne se modifie que difficilement et avec beaucoup de temps. L'inertie de masses d'eaux aussi réduites est beaucoup plus importante qu'on ne l'imaginerait a priori.

Pour ce qui est de la coupe 48e, elle représente l'état des salinités le 28 novembre 1962, 18 jours après une forte pluie de 171 mm, pluie qui avait été déjà précédée de deux autres mois à précipitations moindres mais déjà importantes. Ce type de profil se retrouve 5 ou 6 fois dans la série des 42 journées dont les coupes ont été relevées ; il convient de souligner que l'aplanissement général des hétérogénéités qu'illustre cette figure n'apparaît pas comme immédiatement et nécessairement lié à toute forte pluie, ainsi qu'en témoigne le profil précédent (48d) et ce qui a été dit à son sujet.

Si le profil que présente la figure 48e coïncide avec de telles précipitations c'est probablement qu'antérieurement à ces pluies l'homogénéisation était déjà assez avancée. D'une manière générale, cet état semble plutôt correspondre à des périodes de stabilité, des périodes où pendant assez longtemps les causes qui provoquent les variations de salinités (fortes pluies ou conjonction de l'évaporation intense et des apports marins) cessent d'agir ou agissent avec peu d'intensité. Par exemple,

le contrôle de mars 1961 donne un profil de ce type ; on peut vérifier sur la figure 37 qu'il n'y avait pas eu de pluie pour ainsi dire depuis trois mois et à ce moment-là l'évaporation n'était pas encore forte (un autre cas, pouvant s'expliquer de la même façon, s'observe au début d'avril 1963). Un cas analogue se situe à la fin de novembre 1955 ; aucune pluie très importante n'a été observée, mais seulement des pluies moyennes, suffisantes pour avoir fait baisser légèrement la salinité.

Ainsi une forte homogénéisation apparaît comme étant l'aboutissement logique d'un processus lent d'équilibre dans des périodes relativement stables.

La figure 49 présente quatre profils nord-sud correspondant à quatre mois successifs ; ces coupes gagnent à être examinées en liaison avec les courbes de la salinité et de la pluviosité (fig. 37 et 41a).

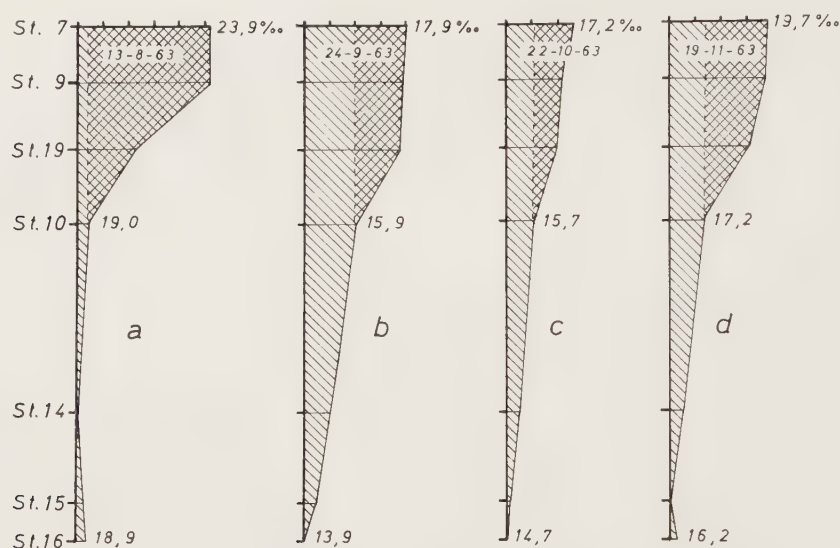


FIG. 49. — *Etat des hétérogénéités du nord au sud de l'étang au cours de quatre mois successifs de l'année 1963.*

La coupe 49a représente un moment où le contraste entre les deux cuvettes est fort ; l'étang atteint ses valeurs annuelles maximales. En b, les salinités ont subi un abaissement sensible, à la suite de très fortes pluies (203 mm) tombées une dizaine de jours avant le contrôle ; l'hétérogénéité totale demeure assez forte, mais celle qui affectait en propre le bassin de Leucate s'est réduite, tandis que celle du bassin de Salses s'est accentuée. En réalité il n'est pas possible d'affirmer que ce dernier caractère soit la conséquence directe des pluies ; il est beaucoup plus probable que le contraste de la coupe précédente s'était déjà atténué par diffusion des eaux marines avant les précipitations, comme dans les profils successifs présentés par la figure 48a et 48b. Quoi qu'il en soit, un mois plus tard, en octobre, aucune nouvelle pluie n'étant survenue, la salinité moyenne est demeurée identique, mais il y a eu des échanges d'eau qui ont sensiblement réduit l'hétérogénéité (49c) ; c'est la marche vers l'homogénéisation. Le mois suivant (49d), pratiquement aucune pluie n'est encore tombée au moment du contrôle ; par contre, un apport d'eau de mer a eu lieu comme en témoigne la légère hausse de la salinité moyenne ; cette élévation ayant affecté beaucoup plus le bassin de Leucate que celui de Salses, le processus d'homogénéisation, déjà bien avancé en octobre, a été interrompu.

Cette série de profils observés au cours d'une suite continue de contrôles permet donc de suivre concrètement le jeu des facteurs qui créent les variations ; cet examen souligne encore la relative stabilité des états acquis et la lenteur avec laquelle les modifications s'opèrent.

De nombreuses autres hétérogénéités, à caractères plus particuliers et décrites dans la partie descriptive, pourraient faire l'objet d'études de détail intéressantes ; elles dépasseraient le cadre de cet exposé. D'un autre côté l'interprétation de ces autres cas d'hétérogénéités relèverait toujours des mêmes principes.

Ce qui a été exposé montre que si les hétérogénéités paraissent extrêmement variées dans leurs

manifestations, ces multiples modalités sont toujours régies par une seule loi simple et banale, la loi d'équilibre des liquides en contact, loi qui tend sans arrêt à niveler les contrastes que font apparaître les apports des deux eaux-mères du mélange. Ce que révèle et précise cette revue, c'est à quel point les phénomènes de diffusion, au moyen desquels se réalise l'équilibre chimique, sont lents et difficiles, même à l'échelle d'une lagune de profondeur et de dimensions aussi réduites que l'étang de Salses-Leucate.

Cette inertie explique que les deux cuvettes se présentent comme deux unités ayant toujours certains caractères particuliers et originaux ; c'est un trait que l'ouverture du nouveau grau St-Ange a fortement atténué.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cet exposé sur l'hydrologie de l'étang de Salses-Leucate doit permettre de comprendre les principaux caractères des variations qui affectent les températures et les salinités de cette lagune particulière ; par ailleurs, les clés de l'interprétation de ces variations peuvent contribuer à éclairer les phénomènes observés dans d'autres unités et quelques enseignements de portée générale se sont dégagés au cours de cette étude. Les principales connaissances acquises sur ces divers plans vont être résumées dans les lignes qui suivent.

1^o) L'étude des températures des eaux et de leurs variations, celle des hétérogénéités thermiques qui règnent au même moment entre les divers points de l'étang et la recherche des causes susceptibles d'expliquer ces divers phénomènes, ont permis de dégager avec précision des données pouvant s'appliquer à de nombreuses unités aquatiques plus ou moins analogues à celle de Salses-Leucate.

Il apparaît d'abord que dans de telles unités le rôle de régulation thermique joué par les eaux est insignifiant ; la température moyenne, pour un jour donné, se situe pratiquement toujours entre le maximum et le minimum de la température de l'air ce jour-là et généralement elle ne diffère pas de plus de 1 ou 2 degrés de la température moyenne de l'air. De plus il est prouvé que, le même jour, la température en un point donné peut varier de plusieurs degrés et qu'il n'est pas possible d'établir d'authentiques isothermes si les contrôles ne peuvent être effectués simultanément dans les divers secteurs de l'étang.

Outre le fait que de telles lagunes sont extrêmement sensibles aux facteurs thermiques, cette étude permet de préciser que le degré de sensibilité des eaux sur ce point est directement lié à la profondeur de la nappe aquatique ; les hétérogénéités de température sont essentiellement en corrélation avec les hétérogénéités de profondeur et il est certain que les isothermes réelles tendent toujours à être parallèles aux isobathes.

2^o) Le deuxième point concerne l'importance des différences de salinité qui peuvent exister entre les diverses années.

C'est une tendance naturelle de vouloir absolument considérer chaque lagune comme une unité ayant des caractères bien définis et constants. Il est fréquent de trouver dans la littérature qu'un étang est caractérisé par telle ou telle salinité (ou chlorinité), l'affirmation ne s'appuyant que sur quelques prélèvements très localisés dans l'espace et le temps.

Les faits exposés dans cette étude, ainsi d'ailleurs que des observations faites sur d'autres étangs méditerranéens, soulignent à quel point on doit se méfier des conclusions hâtives dans ce domaine, surtout lorsque des buts pratiques à incidences économiques doivent découler de ces conclusions.

3^o) Les données présentées ici apportent quelque lumière sur la question théorique du caractère submarin de certaines lagunes et sur le problème pratique qui en découle, à savoir, si l'évaluation des salinités de ces eaux à l'aide des tables de KNUDSEN ne peut donner que des estimations inexactes et donc sans intérêt.

Il convient de rappeler qu'utiliser le terme « exact », quand il s'agit de qualifier le résultat d'un dosage chimique, c'est user d'un langage imprécis. Aucun résultat n'a une exactitude absolue ; la

seule question qui a de l'intérêt est de savoir jusqu'à quel point une évaluation est exacte ou, en d'autres termes, quel est son degré de précision. Quand ce point est résolu, et seulement à ce moment-là, il devient possible de discuter sur l'utilité, ou l'inutilité, de l'information fournie par l'évaluation en question.

Les données numériques de cette étude montrent de façon incontestable que les rapports ioniques de l'étang sont sujets à variations et qu'ils s'écartent d'autant plus du rapport marin constant que les eaux sont davantage diluées, mais il est non moins certain que ces variations sont faibles. Il est possible d'établir que, dans les cas les plus défavorables, l'erreur commise en utilisant les tables de Knudsen n'atteint certainement pas 0,5 ‰ et qu'en moyenne elle est voisine de 0,2 ou 0,1 ‰.

Cela dit, la question de savoir si une telle marge d'imprécision est tolérable ou non dépend uniquement de l'usage que l'on veut faire des données ainsi exprimées.

Pour un océanographe-physicien qui, à partir des salinités, doit déterminer les diverses masses d'eaux que renferme une mer et définir leurs relations dynamiques, il est bien évident que l'expression des salinités avec une telle imprécision serait tout à fait inadmissible. En revanche, pour l'écologiste qui veut connaître les possibilités floristiques et faunistiques d'une unité aquatique, une évaluation des salinités avec une précision allant de 0,1 à 0,5 ‰ est largement suffisante et elle lui fournit un paramètre des plus importants pour ce qui l'intéresse. Enfin dans le cadre d'une étude des caractères physico-chimiques d'une lagune, comme celle de Salses-Leucate, où les causes des hétérogénéités dans l'espace et dans le temps créent des différences très supérieures à la marge d'imprécision sur l'évaluation des salinités, il est bien certain que l'on peut faire abstraction de cette imprécision sans risquer de faire des erreurs dans la description et l'interprétation des caractères généraux de la lagune ; cela étant, il est évident que l'expression de la minéralisation totale par ces salinités constitue une donnée beaucoup plus riche en information que l'expression des seules teneurs en chlore.

4°) La recherche des causes qui créent les variations annuelles de la salinité a permis de déceler clairement les facteurs qui commandent chacune des deux phases du cycle.

a) Toutes les descentes de la salinité dépendent exclusivement des fortes et brusques pluies (au moins 100 mm tombant en quelques jours), au point que toutes les phases de décroissances sont entièrement liées, dans leur durée comme dans leur amplitude, à leur nombre et à leur échéance.

Quant aux autres apports d'eau continentale, ceux que fournissent les pluies moyennes ou discontinues ainsi que les écoulements habituels des résurgences, ils ne font pas baisser la salinité, ils contribuent tout juste à l'empêcher de remonter et encore seulement pendant la mauvaise saison.

b) Quant aux phases de croissance des salinités, elles s'expliquent par la conjugaison de deux circonstances ; d'une part l'absence, pendant généralement 5 ou 6 mois, de ces fortes et brusques précipitations qui provoquent les chutes de la salinité et d'autre part l'existence, pendant ces mêmes mois, d'une évaporation particulièrement intense. Comme la quantité d'eau évaporée est alors égale à celle qui est apportée par les résurgences les effets dynamiques et chimiques de ces écoulements sont neutralisés.

La conséquence de cette double neutralisation est que les échanges, désormais commandés par les seules oscillations du niveau marin, ne peuvent plus se solder que par un remplacement progressif du mélange lagunaire, devenu chimiquement stable, par de l'eau de mer. De là, une remontée continue et durable des salinités.

5°) Selon les années, les valeurs maximales et minimales qui caractérisent les salinités annuelles peuvent être très différentes.

Il a été démontré que ces différences sont entièrement dues au fait que le nombre et l'échéance des brusques pluies varient d'une année à l'autre.

Non seulement la valeur minimale est commandée directement par le nombre de ces fortes pluies au cours de la saison pluvieuse, mais encore la valeur du maximum est elle aussi régie par ces pluies et à un double titre : d'abord parce qu'elle est étroitement tributaire du minimum existant au départ de la phase de croissance et ensuite parce qu'elle dépend de la durée de cette phase, durée elle-même réglée par l'échéance de la dernière forte pluie d'une saison et de la première de la saison suivante.

6°) Si les salinités du bassin de Leucate au nord sont toujours plus élevées que celles du bassin de Salses au sud, c'est que ce dernier est la zone de réception directe des eaux continentales tandis que l'autre est la zone de réception des eaux marines ; les différences observées sont liées au fait que les points de déversements des deux catégories d'eaux sont distants l'un de l'autre d'environ 10 km et que la diffusion des eaux est loin de s'opérer instantanément.

On constate qu'en dehors des périodes d'apports massifs, dus aux fortes pluies, il faut généralement de deux à trois mois pour que la valeur absolue des salinités qui régnait dans l'un des bassins soit atteinte par l'autre. A cause de cette inertie, et bien que la tendance à l'homogénéisation soit constante, chaque cuvette garde une individualité plus accentuée qu'on ne pourrait le penser a priori.

7°) Les modifications apportées aux salinités par le creusement d'un grau plus profond comportent un enseignement très important ; elles montrent qu'un abaissement du seuil de communication d'environ un mètre, entre la mer et l'étang, a suffi pour entraîner une hausse générale et importante des salinités. De plus, toujours sur le plan des salinités, cette nouvelle communication contribue de manière sensible à atténuer l'effet des facteurs d'hétérogénéités.

8°) Avant de terminer, qu'il nous soit permis de faire un bref retour sur le but appliqué qui fut à l'origine de cette étude, ceci pour montrer qu'il ne fut pas délaissé, et pour évoquer comment les observations hydrologiques ont pu contribuer à sa réalisation.

Il s'agissait, rappelons-le, de savoir si les eaux de l'étang de Salses-Leucate pouvaient se prêter ou non à une conchyliculture rentable. Parallèlement aux observations hydrologiques, des essais variés d'élevages expérimentaux furent conduits.

En liaison avec la variabilité des salinités observées, il apparut, au bout de quelques années, que la rapidité de croissance présentait des différences, à la fois entre les années, entre le bassin de Leucate et celui de Salses, et enfin entre les deux espèces étudiées, les moules et les huîtres.

Au bout de 4 ou 5 ans d'observations, nous pouvions conclure qu'en tout état de cause l'élevage des moules pouvait être tenté sans risque, particulièrement dans le bassin de Leucate. Il nous fut possible de donner un avis favorable pour la délivrance de concessions dans cette zone. Nous le fîmes avec d'autant plus de confiance que nos vœux, pour une amélioration des communications avec la mer, étaient alors pris en considération par les communes intéressées et par l'administration. Nous escomptions que l'ouverture d'un deuxième grau créerait des conditions qui permettraient d'adjoindre l'ostréiculture à la mytiliculture. Nos espoirs ne furent pas déçus ; nous avons vu comment l'existence d'un grau plus profond a établi l'étang dans un registre de salinités sensiblement supérieures à ce qu'elles étaient antérieurement. Comme prévu, il en est résulté, sur le plan de la conchyliculture, que les éleveurs de Leucate se livrent désormais à l'élevage des huîtres avec autant de succès qu'à celui des moules.

C'est ainsi que le but appliqué de notre travail a connu une heureuse issue, puisqu'elle a abouti à la création d'un nouveau centre de conchyliculture.

BIBLIOGRAPHIE

- AGUESSE (P.), 1957. — La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. — *Vie et Milieu, Bull. Lab. Arago*, **8** (4) : 341-65.
- ARNAUD (P.), 1966. — Croissance comparée de *Mytilus galliæ* et de *Mytilus leucate* dans des étangs de Thau et de Salses-Leucate. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** (4) : 357-64.
- 1967. — Les salinités de l'étang de Salses-Leucate et le régime des eaux souterraines. — *Ibid.*, **31** (2) : 109-116.
- AUDOUIN (J.), 1962. — Hydrologie de l'étang de Thau. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **26** (1) : 1-104.
- BESADA RIAL (J.-R.) et RODRIGUEZ-MOLINS (L.), 1962. — Determinacion complexometrica de los iones calcio y magnesio en el agua del mar, y estudio de las variaciones de su concentracion en las aguas de la ria de Vigo. — *Bol. Inst. esp. Oceanogr.*, Madrid, n° 111, 11 p.
- BRUNELLI (G.), 1933. — Ricerche sugli stagni littoranei. — *R.C. Accad. Lincei*, (6), XVII - 3, p. 246.

- CARTER (N.-M.) et TULLY (J.-P.), 1937. — Abac for the conversion of values expressed as chlorinity per litre et an interpolation temperature of 20°C to chlorinity per kilogram (Cl ‰). — *J. Cons. int. Explor. Mer*, **12**, 1 fig., p. 37.
- CASANOBE (G.), 1962. — Considérations sur les mesures d'évaporation et d'évapotranspiration. — *Ann. clim. Pyrénées-Orientales* : 15-18.
- 1966. — La tramontane. — *Ibid.* : 20-49.
- CASTANY (G.), 1967. — Traité pratique des eaux souterraines. — Paris, DUNOD Edit., 1 vol., 661 p.
- DE ANGELIS (C.), 1949. — Osservazioni su alcuni stagni della Sardegna meridionale. — *Boll. Pesca, Pisc. e Idrobiol.*, **4** (2) : 190-215.
- DELAMARE-DEBOUTTEVILLE (C.), 1960. — Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. — Paris, HERMANN Edit., 740 p., 254 fig.
- DENIZOT (G.), 1951. — Les anciens rivages de la Méditerranée française. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 992, 56 p.
- DUBOIS (P.), 1964. — Les circulations souterraines dans les calcaires de la région de Montpellier. — *Bull. Bur. Rech. géol. min.*, n° 2, 31 p.
- FELDMANN (G.), 1953. — La végétation de l'étang de Salses (rive sud). — *Vie et Milieu, Bull. Lab. Arago*, **4** (4) : 685-700.
- FURNESTIN (J.), 1960. — Hydrologie de la Méditerranée occidentale (golfe du Lion, Mer catalane, Mer d'Alboran, Corse orientale), 14 juin-20 juillet 1957). — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **24** (1) : 5-119.
- GALTIER (G.), 1958. — La côte sableuse du golfe du Lion. — *Soc. Languedoc., Geogr. Bull.*, **23** (2 et 3).
- GOURRET (P.), 1897. — Les étangs saumâtres du midi de la France et leurs pêcheries. — *Ann. Mus. Hist. nat. Marseille*, **5**, mém. 1, 386 p., 153 fig.
- GOT (H.), 1965. — Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Feuilla-Fitou (Corbières) et de la Salanque (Roussillon). — Thèse 3^e cycle, Univ. Montpellier.
- GRIPENBERG (S.), 1937. — The calcium content of Baltic water. — *J. Cons. int. Explor. Mer*, **12** : 293-304.
- HARVEY (H.-W.), 1960. — The chemistry and fertility of sea waters. — Cambridge, Univ. Press, 240 p.
- LE CALVEZ (J.) et LE CALVEZ (Y.), 1951. — Contribution à l'étude des foraminifères des eaux saumâtres. I Etangs de Canet et de Salses. — *Vie et Milieu, Bull. Lab. Arago*, **2** (2) : 148-150.
- LE DANTEC (J.) et RAIMBAULT (R.), 1965. — Croissances comparées des huîtres portugaises (bassin d'Arcachon - étangs méditerranéens). — *Science et Pêche, Bull. Inform. Inst. Pêches marit.*, n° 140 : 1-8.
- MARS (P.), 1952. — Contribution à l'étude biologique des étangs méditerranéens. Faune malacologique de l'étang de Salses (Pyr.-Or.). — *Vie et Milieu, Bull. Lab. Arago*, **3** (2) : 148-50.
- 1961. — Recherches sur quelques étangs du littoral méditerranéen français et sur leurs faunes malacologiques. — Thèse, Paris Fac. Sci., 270 p.
- NISBET (M.), PETIT (G.) et SCHACHTER (D.), 1958. — Caractères chimiques de quelques étangs méditerranéens. Considérations sur la classification des eaux saumâtres (note préliminaire). — *Verh. int. Ver. Limnol.*, **13** : 672-75.
- NISBET (M.) et SCHACHTER (D.), 1961. — Constituants chimiques des eaux de quelques étangs littoraux. — *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, n° 1 207, 45 p.
- PETIT (G.), 1953. — Introduction à l'étude écologique des étangs méditerranéens. — *Vie et Milieu, Bull. Lab. Arago*, **4** (4) : 569-604.
- REMIENIERAS (G.), 1960. — L'hydrologie de l'ingénieur. — Paris, EYROLLES Edit., 413 p.
- RIVIÈRE (A.) et VERNHET (S.), 1956. — Observations sédimentologiques sur l'étang de Leucate. — *C.R. Acad. Sci., Paris*, **243** (16) : 1 134-7.
- 1958. — Evolution de la rive orientale de l'étang de Leucate-Salses. — *Ibid.*, **246** (12) : 1 891-4.
- RAIMBAULT (R.), 1966 a. — Teneur en halogènes et salinités — *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit.* (Colloque de Messine). Rorco : 1-10.
- 1966 b. — L'alimentation des mollusques planctonophages. — *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **30** (2 et 3) : 224-50.
- RODIER (J.), 1966. — L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. — Paris, DUNOD Edit., 412 p.
- ROUCH (J.), 1946. — Traité d'océanographie. L'eau de mer. — Paris, PAYOT Edit., 349 p.
- SACCHI (C.-F.) et RENZONI (H.), 1962. — L'écologie de *Mytilus galloprovincialis* (LAM.) dans l'étang littoral du Fusaro et les rythmes annuels et nycthémeraux des facteurs environnants. — *Pubbl. staz. zool. Napoli*, 32 suppl. : 255-293.
- SCHACHTER (D.), 1950. — Contribution à l'étude écologique de la Camargue. — *Ann. Inst. océanogr., n.s.*, **25** (1) : 1-108.
- SOUSA (A. DE), 1954. — La détermination rapide du calcium et du magnésium dans l'eau de mer. — *Analyt. Chim. Acta*, **11** (3) : 221-4.
- STRICKLAND (J.-D.-H.) et PARSONS (T.-R.), 1965. — A manual of sea water analysis. — *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, n° 125, 203 p.
- VERNHET (S.), 1955. — Sur un mode particulier d'écoulement à la mer des eaux continentales sur la côte du Roussillon. Formes frustes du même phénomène dans la région de Valras. — *C.R. Acad. Sci.*, **240** : 892-94.
- ZENKEVITCH (L.), 1963. — Biology of the seas of the U.S.S.R. — Londres, ALLEN et UNWIN, Ltd, 955 p.

Vu et permis d'imprimer :

Montpellier, le 13 mars 1969

Le Doyen de la Faculté des Sciences

Signé : A. CASADEVALL

